

PCT/JP00/05875

30.08.00

3P00/5875  
日本国特許庁

PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

REC'D 20 OCT 2000

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

1999年 9月10日

EKV

出願番号  
Application Number:

平成11年特許願第258089号

出願人  
Applicant (s):

株式会社ニコン

09/831345

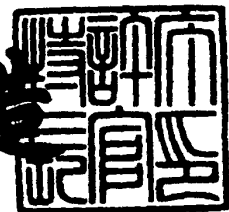
PRIORITY  
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

2000年10月 6日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2000-3080882

【書類名】 特許願  
【整理番号】 99-00996  
【あて先】 特許庁長官殿  
【国際特許分類】 H01L 21/027  
【発明者】

---

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社 ニコ

ン内

【氏名】 大和 壮一

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株式会社 ニコ

ン内

【氏名】 大槻 朋子

【特許出願人】

【識別番号】 000004112

【氏名又は名称】 株式会社 ニコン

【代理人】

【識別番号】 100102901

【弁理士】

【氏名又は名称】 立石 篤司

【電話番号】 042-739-6625

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 053132

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9408046

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光源装置及び露光装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 複数の光ファイバと；

前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置と；

---

前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置とを備える光源装置。

【請求項 2】 前記偏光調整装置は、前記各光ファイバを介した複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ円偏光とし、

前記偏光方向変換装置は  $1/4$  波長板を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光源装置。

【請求項 3】 前記光ファイバはほぼ円筒対称の構造を有し、

前記偏光調整装置は、前記各光ファイバに入射する複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ円偏光とすることを特徴とする請求項 2 に記載の光源装置。

【請求項 4】 前記偏光調整装置は前記各光ファイバを介した複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ同一の楕円偏光とし、

前記偏光方向変換装置は、偏波面を回転する  $1/2$  波長板と、前記  $1/2$  波長板と光学的に直列接続された  $1/4$  波長板とを有することを特徴とする請求項 1 に記載の光源装置。

【請求項 5】 前記複数の光ファイバそれぞれは、前記複数の光ファイバに入射する複数の光束それぞれを増幅対象光とする光ファイバ増幅器を構成する、前記増幅対象光が導波される光ファイバであることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 6】 前記複数の光ファイバに入射する前記複数の光束それぞれは、パルス光列であることを特徴とする請求項 1～5 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 7】 前記複数の光ファイバに入射する前記複数の光束それぞれは、前記複数の光ファイバへ入射する前に、1 段以上の光ファイバ増幅器によって

増幅された光束であることを特徴とする請求項 1 ～ 6 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 8】 前記偏光調整装置は、前記複数の光ファイバよりも上流側に配置された光学部品の光特性を制御して偏光調整を行うことを特徴とする請求項 1 ～ 7 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 9】 前記複数の光ファイバは、ほぼ並行に束ねられていることを特徴とする請求項 1 ～ 8 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 10】 前記偏光方向変換装置から射出された光束を、少なくとも 1 つの非線形光学結晶を介させることにより、波長変換を行う波長変換装置を更に備えることを特徴とする請求項 1 ～ 9 のいずれか一項に記載の光源装置。

【請求項 11】 前記複数の光ファイバから射出される光は赤外域及び可視域のいずれかの波長を有し、前記波長変換装置から射出される光は紫外域の波長を有することを特徴とする請求項 10 に記載の光源装置。

【請求項 12】 前記複数の光ファイバから射出される光は 1 5 4 7 n m 付近の波長を有し、前記波長変換装置から射出される光は 1 9 3 . 4 n m 付近の波長を有することを特徴とする請求項 11 に記載の光源装置。

【請求項 13】 露光用ビームを基板に照射することにより、所定のパターンを基板に転写する露光装置において、

前記露光用ビームの発生装置として請求項 11 又は 12 に記載の光源装置を備えることを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光源装置及び露光装置に係り、より詳しくは複数の光束の偏光を制御しつつ所望の波長の光を射出する光源装置、及び該光源装置を備えた露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、半導体素子（集積回路）、液晶表示素子等を製造するためのリソグ

ラフィ工程では、種々の露光装置が用いられている。近年では、この種の露光装置としては、フォトマスク又はレチクル上に形成された微細回路パターンを、表面にフォトリソグが塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板上に投影光学系を介して縮小投影し、転写する、いわゆるステツパあるいはいわゆるスキヤニング・ステツパ等の縮小投影露光装置が、高いスループットを有する点から主流となっている。

## 【0003】

しかるに、投影露光装置等の露光装置では、高スループットとともに高い解像力（解像度）が要請される。投影露光装置の解像力 $R$ 、焦点深度 $DOF$ は、露光用照明光の波長 $\lambda$ 、投影光学系の開口数 $N.A.$ を用いて、

$$R = K \cdot \lambda / N.A. \quad \dots\dots (1)$$

$$DOF = \lambda / 2 (N.A.)^2 \quad \dots\dots (2)$$

によってそれぞれ表される。

## 【0004】

上記の式（1）から明らかなように、解像力 $R$ 、すなわち解像できる最小パターン線幅をより小さくするために、①比例定数 $K$ を小さくする、② $N.A.$ を大きくする、③露光用照明光の波長 $\lambda$ を小さくする、の3つの方法が考えられる。ここで、比例定数 $K$ は投影光学系やプロセスによって決まる定数であり、通常0.5～0.8程度の値をとる。この定数 $K$ を小さくする方法は、広い意味での超解像と呼ばれている。今までに、投影光学系の改良、変形照明、位相シフトレチクルなどが提案、研究されてきた。しかし、適用できるパターンに制限があるなどの難点があった。

## 【0005】

一方、開口数 $N.A.$ は式（1）からその値が大きいほど解像力 $R$ を小さくできるが、このことは同時に式（2）から明らかなように焦点深度 $DOF$ が浅くなってしまうことを意味する。このため、 $N.A.$ 値は大きくするにも限界があり、通常は0.5程度が適当とされている。

## 【0006】

従って、解像力 $R$ を小さくする最も単純かつ有効な方法は、露光用照明光の波

長λを小さくすることである。

【0007】

かかる理由により、ステッパ等としては紫外域の輝線（g線、i線等）を出力する超高圧水銀ランプを露光用光源とするg線ステッパ、i線ステッパが従来主として用いられていたが、近年ではより短波長のKrFエキシマレーザ光（波長248nm）を出力するKrFエキシマレーザを光源とするKrFエキシマレーザ・ステッパが主流となりつつある。現在ではさらに短波長の光源としてArFエキシマレーザ（波長193nm）を使用する露光装置の開発が進められている。しかしながら、上述したエキシマレーザは大型であること、1パルスあたりのエネルギーが大きいことにより光学部品の損傷が生じやすいこと、有毒なフッ素ガスを使用するためレーザのメンテナンスが煩雑でかつ費用が高額となるなどの、露光装置の光源として不利な点が存在する。

【0008】

そこで、非線形光学結晶の非線形光学効果を利用して、長波長の光（赤外光、可視光）をより短波長の紫外光に変換し、こうして得られた紫外光を露光光として使用する方法が注目されている。こうした方法を採用した露光用光源としては、例えば特開平8-334803号公報に開示されているような、半導体レーザを備えたレーザ光発生部からの光を、波長変換部に設けた非線形光学結晶により波長変換し、紫外光を発生させる1つのレーザ要素を、複数本マトリックス状（例えば10×10）に束ねて一つの紫外光源とするアレイレーザの例が開示されている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

上記のような、アレイレーザでは、個々に独立なレーザ要素を複数本束ねることによって、個々のレーザ要素の光出力を低く押さえつつ、装置全体の光出力を高出力とすることができる。しかし、個々のレーザ要素が独立していることから、各レーザ要素の発振スペクトルを一致させるためには、微妙な調整を必要とし、かつ非常に複雑な構成を採用することが必要であった。

【0010】

そこで、レーザ発振源を1つとし、このレーザ発振源から射出されたレーザ光を分岐するとともに、各分岐光を増幅した後、共通の非線形光学結晶で波長変換する方法が考えられる。この方法を採用する場合、レーザ光の引き回しには光ファイバを使用することが便宜であり、非線型光学結晶へは束ねられた複数の光ファイバから射出された複数の光束を入射させる構成が、構造の簡単さ、出力ビーム径小型化、メンテナンス性の観点から最適である。

【0011】

また、非線形光学結晶を使用して、非線形光学効果により2倍高調波等を効率良く発生させるためには、非線型光学結晶の結晶方向に応じた特定の方向の直線偏光を非線型光学結晶に入射させることが必要である。しかし、複数の光ファイバから射出される直線偏光の方向を揃えることは、一般に困難である。これは、例えば偏波面保持ファイバを使用し、直線偏光を導波した場合であっても光ファイバはほぼ円形の断面形状を有しているので、光ファイバの外形形状からは、直線偏光の方向を特定することができないからである。

【0012】

本発明は、上記の事情のもとでなされたものであり、その第1の目的は、簡単な構成で偏光状態を制御しつつ所定の光を発生することができる光源装置を提供することにある。

【0013】

また、本発明の第2の目的は、効率的に所定のパターンを基板に転写することができる露光装置を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】

本発明の光源装置は、複数の光ファイバと；前記複数の光ファイバを介した同一波長の複数の光束の偏光状態を揃える偏光調整装置（16D）と；前記複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する偏光方向変換装置（162）とを備える光源装置である。

【0015】

これによれば、偏光調整装置が複数の光ファイバから射出される複数の光束の

偏光状態を揃えた後、偏光方向変換装置が、複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換するので、簡易な構成で、同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束を得ることができる。

## 【0016】

本発明の光源装置では、前記偏光調整装置が、前記各光ファイバを介した複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ円偏光とする場合には、前記偏光方向変換装置が1/4波長板(162)を有する構成とすることができる。かかる場合には、偏光調整装置によって各光ファイバを介した複数の光束それぞれがほぼ円偏光となっているので、複数の光束の全てを、偏光方向変換装置が有する1/4波長板を介させることにより、同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換することができる。したがって、偏光方向変換装置を、1枚の1/4波長板という非常に簡単な構成としつつ、複数の光束を、同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換することができる。なお、直線偏光の偏光方向は、1/4波長板を形成する結晶材料等の光学軸の方向によって決定される。このため、1/4波長板を形成する結晶材料等の光学軸の方向を調整することにより、任意の同一直線偏光方向を有する複数の光束を得ることができる。

## 【0017】

ここで、前記光ファイバがほぼ円筒対称の構造を有する場合には、前記偏光調整装置が、前記各光ファイバに入射する複数の光束それぞれの偏光状態をほぼ円偏光とする構成とすることができる。これは、円筒対称の構造を有する光ファイバに円偏光を入射した場合には、その光ファイバからは円偏光が射出されるからである。なお、光ファイバを完全に円筒対称の構造とすることは不可能なので、光ファイバの長さは短い方が好ましい。

## 【0018】

また、本発明の光源装置では、前記偏光調整装置が前記各光ファイバを介した複数の光束それぞれが全てほぼ同一の偏光状態で、任意の偏光状態とする場合には、前記偏光方向変換装置が、偏波面を回転する1/2波長板と、前記1/2波長板と光学的に直列接続された1/4波長板とを有する構成とすることができる。ここで、1/2波長板と1/4波長板との直列接続にあたっては、どちらを光



路における上流側に配置してもよい。例えば、 $1/2$ 波長板を上流側に配置した場合には、共通の $1/2$ 波長板を介することにより、各光ファイバを介した複数の光束の偏波面が同様に回転された後、更に共通の $1/4$ 波長板を介することにより、全ての光束が同一偏光方向を有する直線偏光となる。また、 $1/4$ 波長板を上流側に配置した場合にも、 $1/2$ 波長板を上流側に配置した場合と同様に、~~全ての光束を、同一偏光方向を有する直線偏光とすることができる。したがって~~、偏光方向変換装置を、1枚の $1/2$ 波長板と1枚の $1/4$ 波長板という簡易な構成とすることができる。この場合には、 $1/2$ 波長板及び $1/4$ 波長板を形成する結晶材料等の光学軸の方向を調整することにより、任意の同一直線偏光方向を有する複数の光束を得ることができる。

## 【0019】

また、本発明の光源装置では、前記複数の光ファイバそれぞれが、前記複数の光ファイバに入射する複数の光束それぞれを増幅対象光とする光ファイバ増幅器(171)を構成する、前記増幅対象光が導波される光ファイバである構成とすることができる。かかる場合には、各光ファイバが入射した光がそれぞれ増幅されて各光ファイバから射出されるので、偏光方向変化装置からの射出光として、それぞれが高強度であり、かつ同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束を得ることができる。この結果、光源装置としての射出光光量の増大を図ることができる。

## 【0020】

また、本発明の光源装置では、前記複数の光ファイバに入射する前記複数の光束それぞれをパルス光列とすることができる。かかる場合には、各パルス光列における光パルスの繰り返し周期やパルス高を調整することにより、光源装置としての射出光の光量を精度良く制御することができる。

## 【0021】

また、本発明の光源装置では、前記複数の光ファイバに入射する前記複数の光束それぞれが、前記複数の光ファイバへ入射する前に、1段以上の光ファイバ増幅器(167)によって増幅された光束である構成とすることができる。かかる場合には、1段以上の光ファイバ増幅器による1段又は多段の光増幅作用により

、光源装置としての射出光光量の増大を図ることができる。

【0022】

また、本発明の光源装置では、偏光調整装置が、偏光方向変換装置の直前に配置された前記複数の光ファイバそれぞれに印加する機械的なストレス等を調整して、偏光方向変換装置に入射する複数の光束の偏光状態を調整することも可能であるが、前記偏光調整装置が、前記複数の光ファイバよりも上流側に配置された光学部品の光特性を制御して偏光調整を行う構成とすることができる。かかる場合には、偏光方向変換装置の直前に配置された複数の光ファイバが、光増幅部を有する、増幅対象光が導波される光ファイバであり、ストレスの印加等による偏光調整になじまない場合であっても、より上流側に配置された偏光調整がよりしやすい光学部品の光特性を制御することにより、偏光方向変換装置に入射する複数の光束の偏光状態を揃えることができる。

【0023】

また、本発明の光源装置では、前記複数の光ファイバが、互いにほぼ並行して束ねられている構成とすることができる。かかる場合には、複数の光ファイバが占有する区間を小さくするとともに、偏光方向変換装置の受光面積を小さくできるので、光源装置の小型化を図ることができる。

【0024】

また、本発明の光源装置では、前記偏光方向変換装置から射出された光束を、少なくとも1つの非線形光学結晶を介させることにより、波長変換を行う波長変換装置（163）を更に備える構成とすることができる。かかる場合には、偏光方向変換装置から射出される光束の偏光方向を非線形光学結晶による波長変換（倍高調波発生、和周波発生）が効率的に行われる入射光の偏光方向に設定することにより、効率的に波長変換された光を発生して射出することができる。

【0025】

ここで、前記複数の光ファイバから射出される光は赤外域及び可視域のいずれかの波長を有し、前記波長変換装置から射出される光は紫外域の波長を有することとすることができる。かかる場合には、微細パターンの転写に適した紫外光を効率的に発生することができる。

【 0 0 2 6 】

この場合には、前記複数の光ファイバから射出される光は 1 5 4 7 n m 付近の波長を有し、前記波長変換装置から射出される光は 1 9 3 . 4 n m 付近の波長を有することとすることができる。かかる場合には、A r F エキシマレーザ光源を使用した場合に得られる波長の光を効率的に得ることができる。

【 0 0 2 7 】

本発明の露光装置は、露光用ビームを基板 ( W ) に照射することにより、所定のパターンを基板に転写する露光装置において、前記露光用ビームの発生装置として、波長変換装置が紫外光を発生する本発明の光源装置 ( 1 6 ) を備えることを特徴とする露光装置である。

【 0 0 2 8 】

これによれば、露光用ビームの発生装置として、微細パターンの転写に適した紫外光を効率的に発生する光源装置を使用するので、効率的に所定のパターンを基板に転写することができる。

【 0 0 2 9 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の一実施形態を図 1 ～図 6 に基づいて説明する。

【 0 0 3 0 】

図 1 には、本発明に係る光源装置を含んで構成された一実施形態に係る露光装置 1 0 の概略構成が示されている。この露光装置 1 0 は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置である。

【 0 0 3 1 】

この露光装置 1 0 は、光源装置 1 6 及び照明光学系 1 2 から成る照明系、この照明系からの露光用照明光 ( 以下、「露光光」という ) I L により照明されるマスクとしてのレチクル R を保持するレチクルステージ R S T 、レチクル R から射出された露光光 I L を基板としてのウエハ W 上に投射する投影光学系 P L 、ウエハ W を保持する基板ステージとしての Z チルトステージ 5 8 が搭載された X Y ステージ 1 4 、及びこれらの制御系等を備えている。

【 0 0 3 2 】

前記光源装置 16 は、例えば、波長 193 nm (ArF エキシマレーザ光とほぼ同一波長) の紫外パルス光、あるいは波長 157 nm ( $F_2$  レーザ光とほぼ同一波長) の紫外パルス光を出力する高調波発生装置である。この光源装置 16 は、前記照明光学系 12、レチクルステージ RST、投影光学系 PL、Z チルトステージ 58、XY ステージ 14 及びこれら各部が搭載された不図示の本体コラム等から成る露光装置本体とともに、温度、圧力、湿度等が高精度に調整されたエンバイロンメンタル・チャンバ (以下、「チャンバ」という) 11 内に収納されている。

#### 【0033】

図 2 には、光源装置 16 の内部構成が装置全体を統括制御する主制御装置 50 とともにブロック図にて示されている。この図 2 に示されるように、光源装置 16 は、光源部 16A、レーザ制御装置 16B、光量制御装置 16C、及び偏光調整装置 16D 等を含んで構成されている。

#### 【0034】

前記光源部 16A は、光発生部としてのパルス光発生部 160、光増幅部 161、偏光方向変化装置としての  $1/4$  波長板 162、波長変換部 163、ビームモニタ機構 164 及び吸収セル 165 等を含んで構成されている。

#### 【0035】

前記パルス光発生部 160 は、レーザ光源 160A、光カップラ BS1、BS2、光アイソレータ 160B 及び光変調器としての電気光学変調器 (以下、「EOM」という) 160C 等を有する。なお、レーザ光源 160A から波長変換部 163 までの間の各要素間は、光ファイバによって光学的に接続されている。

#### 【0036】

前記レーザ光源 160A としては、ここでは、単一波長発振レーザ、例えば、発振波長  $1.544 \mu m$ 、連続波出力 (以下「CW 出力」という) 20 mW の InGaAsP、DFB 半導体レーザが用いられている。以下においては、レーザ光源 160A を適宜「DFB 半導体レーザ 160A」とも呼ぶものとする。

#### 【0037】

ここで、DFB 半導体レーザとは、縦モード選択性の低いファブリーペロー型

共振器の代わりに、回折格子を半導体レーザ内に作り上げたもので、どのような状況下であっても単一縦モード発振をするように構成されており、分布帰還型(Distributed Feedback: DFB)レーザと呼ばれるものである。この様なレーザでは基本的に単一縦モード発振をすることから、その発振スペクトル線幅は0.01 pm以下に抑えられる。

## 【0038】

また、DFB半導体レーザは、通常、ヒートシンクの上に設けられ、これらが筐体内に収納されている。本実施形態では、DFB半導体レーザ160Aに付設されるヒートシンク上に温度調整器(例えばペルチェ素子など)が設けられており、後述するように、レーザ制御装置16Bがその温度を制御することにより発振波長が制御(調整)可能な構成となっている。

## 【0039】

すなわち、DFB半導体レーザの発振波長は0.1 nm/℃程度の温度依存性を持つ。従って、例えば、DFB半導体レーザの温度を1℃変化させると、基本波(1544 nm)ではその波長が0.1 nm変化するので、8倍波(193 nm)ではその波長が0.0125 nm変化し、10倍波(157 nm)ではその波長が0.01 nm変化することになる。

## 【0040】

なお、露光装置では露光用照明光(パルス光)の波長をその中心波長に対して±20 pm程度変化させることができれば十分である。従って、DFB半導体レーザ11の温度を8倍波では±1.6℃程度、10倍波では±2℃程度変化させれば良い。

## 【0041】

なお、レーザ光源160Aとして、DFB半導体レーザ等の半導体レーザに限らず、例えば発振波長が990 nm付近のイットリビウム(Yb)・ドーブ・ファイバーレーザなどを用いることもできる。

## 【0042】

前記光カップラBS1、BS2としては、透過率が97%程度のものが用いられている。このため、DFB半導体レーザ160Aからのレーザ光は、光カップ

ラ B S 1 によって 2 つに分岐され、その 9 7 % 程度が次段の光カップラ B S 2 に向かって進み、残り 3 % 程度がビームモニタ機構 1 6 4 に入射する。また、光カップラ B S 2 に入射したレーザ光は光カップラ B S 2 によって分岐され、その 9 7 % 程度が次段の光アイソレータ 1 6 0 B に向かって進み、残り 3 % 程度が吸収セル 1 6 5 に入射するようになっている。

#### 【 0 0 4 3 】

なお、ビームモニタ機構 1 6 4、吸収セル 1 6 5 等については、後に更に詳述する。

#### 【 0 0 4 4 】

前記光アイソレータ 1 6 0 B は、光カップラ B S 2 から E O M 1 6 0 C に向かう方向の光のみを通過させ、反対向きの光の通過を阻止するためのデバイスである。この光アイソレータ 1 6 0 B により、反射光（戻り光）に起因する D F B 半導体レーザ 1 6 0 A の発振モードの変化や雑音の発生等が防止される。

#### 【 0 0 4 5 】

前記 E O M 1 6 0 C は、光アイソレータ 1 6 0 B を通過したレーザ光（C W 光（連続光））をパルス光に変換するためのものである。E O M 1 6 0 C としては、屈折率の時間変化に伴うチャープによる半導体レーザ出力の波長広がり小さくなるように、チャープ補正を行った電極構造を持つ電気光学変調器（例えば二電極型変調器）が用いられている。E O M 1 6 0 C は、光量制御装置 1 6 C から印加される電圧パルスに同期して変調されたパルス光を出力する。一例として、E O M 1 6 0 C により D F B 半導体レーザ 1 6 0 A で発振されたレーザ光がパルス幅 1 n s、繰り返し周波数 1 0 0 k H z（パルス周期約 1 0 μ s）のパルス光に変調されるものとする、この光変調の結果、E O M 1 6 0 C から出力されるパルス光のピーク出力は 2 0 m W、平均出力は 2 μ W となる。なお、ここでは、E O M 1 6 0 C の挿入による損失がないものとしたが、その挿入損失がある、例えば損失が - 3 d B である場合、パルス光のピーク出力は 1 0 m W、平均出力は 1 μ W となる。

#### 【 0 0 4 6 】

なお、繰り返し周波数を 1 0 0 k H z 程度以上に設定した場合には、後述する

ファイバ増幅器においてASE (Amplified Spontaneous Emission, 自然放出光) ノイズの影響による増幅率低下を阻止することができるので、このようにすることが望ましい。

## 【0047】

なお、EOM160Cのみを用いてパルス光をオフの状態にしてもその消光比が充分でない場合には、DFB半導体レーザ160Aの電流制御を併用することが望ましい。すなわち、半導体レーザなどではその電流制御を行うことで、出力光をパルス発振させることができるので、DFB半導体レーザ160Aの電流制御とEOM160Cとを併用してパルス光を発生させることが望ましい。一例として、DFB半導体レーザ160Aの電流制御によって、例えば10～20ns程度のパルス幅を有するパルス光を発振させるとともに、EOM160Cによってそのパルス光からその一部のみを切り出し、パルス幅が1nsのパルス光に変調する。このようにすれば、EOM160Cのみを用いる場合に比べて、パルス幅が狭いパルス光を容易に発生させることが可能になるとともに、パルス光の発振間隔や発振の開始及びその停止などをより簡単に制御することが可能になる。

## 【0048】

なお、EOM160Cに代えて、音響光学光変調素子(AOM)を用いることも可能である。

## 【0049】

前記光増幅部161は、EOM160Cからのパルス光を増幅するもので、ここでは、複数のファイバ増幅器を含んで構成されている。図3には、この光増幅部161の構成の一例が、EOM160Cとともに示されている。

## 【0050】

この図3に示されるように、光増幅部161は、チャンネル0からチャンネル127の総計128チャンネルを有する遅延部167と、この遅延部167のチャンネル0からチャンネル127の総計128チャンネルのそれぞれの出力段に接続されたファイバ増幅器 $168_1 \sim 168_{128}$ と、これらのファイバ増幅器 $168_1 \sim 168_{128}$ のそれぞれに狭帯域フィルタ $169_1 \sim 169_{128}$ 及び光アイソレータ $170_1 \sim 170_{128}$ をそれぞれ介して接続された最終段のファイバ増幅器 $171_1 \sim 171_{128}$ とを有する。

1<sub>128</sub>等を備えている。この場合、図3からも明らかなように、ファイバ増幅器 1 6 8<sub>n</sub>、狭帯域化フィルタ 1 6 9<sub>n</sub>、光アイソレータ 1 7 0<sub>n</sub>、及びファイバ増幅器 1 7 1<sub>n</sub> ( $n = 1, 2, \dots, 128$ ) によって、それぞれ光経路 1 7 2<sub>n</sub> ( $n = 1, 2, \dots, 128$ ) が構成されている。

#### 【0051】

光増幅部 1 6 1 の上記構成各部について更に詳述すると、前記遅延部 1 6 7 は、総計 1 2 8 チャンネルのチャンネルを有し、各チャンネルの出力に所定の遅延時間（ここでは、3 ns）を与えるためのものである。この遅延部 1 6 7 は、本実施形態では、EOM 1 6 0 C から出力されるパルス光を 3 5 dB（3 1 6 2 倍）の光増幅を行うエルビウム（Er）・ドープ・ファイバ増幅器（EDFA）と、この EDFA の出力をチャンネル 0 ～ 3 の 4 出力に並列分割する光分岐手段であるスプリッタ（平板導波路 1 × 4 スプリッタ）と、このスプリッタのチャンネル 0 ～ 3 の各出力端に接続された各々長さの異なる 4 本の光ファイバと、これら 4 本の光ファイバの出力をそれぞれチャンネル 0 ～ 3 1 に 3 2 分割する 4 つのスプリッタ（平板導波路 1 × 3 2 スプリッタ）と、各スプリッタのチャンネル 0 を除くチャンネル 1 ～ 3 1 にそれぞれ接続された長さの異なる各 3 1 本（総計 1 2 4 本）の光ファイバとを含んで構成されている。以下、上記各スプリッタ（平板導波路 1 × 3 2 スプリッタ）の 0 ～ 3 1 チャンネルを総称してブロックと呼ぶ。

#### 【0052】

これを更に詳述すると、上記初段の EDFA から出力されるパルス光は、ピーク出力約 6 3 W、平均出力約 6 . 3 mW となる。このパルス光がスプリッタ（平板導波路 1 × 4 スプリッタ）によりチャンネル 0 ～ 3 の 4 出力に並列分割され、各チャンネルの出力光には、上記 4 本の光ファイバ長に対応した遅延が与えられる。例えば本実施形態では、光ファイバ中の光の伝搬速度を  $2 \times 10^8 \text{ m/s}$  であるとし、スプリッタ（平板導波路 1 × 4 スプリッタ）のチャンネル 0、1、2、3 にそれぞれ 0 . 1 m、1 9 . 3 m、3 8 . 5 m、5 7 . 7 m の長さの光ファイバ（以下、「第 1 の遅延ファイバ」と呼ぶ）が接続されている。この場合、各第 1 の遅延ファイバ出口での隣り合うチャンネル間の光の遅延は 9 6 ns となる。

#### 【0053】



また、上記4つのスプリッタ（平板導波路  $1 \times 32$  スプリッタ）のチャンネル1～31には、それぞれ  $0.6 \times N$  メートル（ $N$  はチャンネル番号）の長さの光ファイバ（以下、「第2の遅延ファイバ」と呼ぶ）が接続されている。この結果、各ブロック内の隣り合うチャンネル間では  $3 \text{ ns}$  の遅延が与えられ、各ブロックのチャンネル0出力に対し、チャンネル31出力は、 $3 \times 31 = 93 \text{ ns}$  の遅延が与えられる。

#### 【0054】

一方、第1から第4までの各ブロック間には、前記のように第1の遅延ファイバによって、各ブロックの入力時点で各々  $96 \text{ ns}$  の遅延が与えられている。従って、第2ブロックのチャンネル0出力は第1ブロックのチャンネル0出力に対し  $96 \text{ ns}$  の遅延となり、第1ブロックのチャンネル31との遅延は  $3 \text{ ns}$  となる。このことは、第2～第3、第3～第4のブロック間においても同様である。この結果、全体の出力として総計128チャンネルの出力端で、隣り合うチャンネル間に  $3 \text{ ns}$  の遅延を持つパルス光が得られる。

#### 【0055】

以上の分岐及び遅延により、総計128チャンネルの出力端では、隣り合うチャンネル間で  $3 \text{ ns}$  の遅延を持つパルス光が得られるが、このとき各々の出力端で観測される光パルスは、EOM160Cによって変調されたパルスと同じ  $100 \text{ kHz}$ （パルス周期  $10 \mu\text{s}$ ）である。従って、レーザ光発生部全体として見ると、128パルスが  $3 \text{ ns}$  間隔で発生した後、 $9.62 \mu\text{s}$  の間隔を置いて次のパルス列が発生するという繰り返しが  $100 \text{ kHz}$  で行われる。即ち全体の出力は  $128 \times 100 \times 10^3 = 1.28 \times 10^7$  パルス/秒となる。

#### 【0056】

なお、本実施形態では、分割数を128とし、また遅延用ファイバとして短いものを用いた例について説明した。このため各パルス列の間に  $9.62 \mu\text{s}$  の発光しない間隔が生じたが、分割数を増加させる、または遅延用ファイバをより長くして適切な長さとする、あるいはこれらを組み合わせて用いることにより、パルス間隔を完全な等間隔とすることも可能である。

#### 【0057】

前記ファイバ増幅器168<sub>n</sub> (n=1、2、……、128)としては、ここでは、通常通信で用いられているものと同様に光ファイバのモードフィールド径（以下「モード径」という）が5～6 μmのエルビウム（Er）・ドープ・ファイバ増幅器（EDFA）が用いられている。このファイバ増幅器168<sub>n</sub>によって、遅延部167の各チャネルからの出力光が、所定の増幅利得に応じて増幅される。なお、このファイバ増幅器168<sub>n</sub>の励起光源等については後述する。

【0058】

前記狭帯域フィルタ169<sub>n</sub> (n=1、2、……、128)は、ファイバ増幅器168<sub>n</sub>で発生するASE光をカットし、かつDFB半導体レーザ160Aの出力波長（波長幅は1 pm程度以下）を透過させることで、透過光の波長幅を実質的に狭帯化するものである。これにより、ASE光が後段のファイバ増幅器171<sub>n</sub>に入射してレーザ光の増幅利得を低下させる、あるいはASEノイズの伝搬によってレーザ光が散乱するのを防止することができる。ここで、狭帯域フィルタ169<sub>n</sub>はその透過波長幅が1 pm程度であることが好ましいが、ASE光の波長幅は数十 nm程度であるので、現時点で得られる透過波長幅が100 pm程度の狭帯域フィルタを用いても実用上問題がない程度にASE光をカットすることができる。

【0059】

また、本実施形態では、後述するようにDFB半導体レーザ160Aの出力波長を積極的に変化させることがあるので、その出力波長の可変幅（本実施形態の露光装置では一例として±20 pm程度）に応じた透過波長幅（可変幅と同程度以上）を持つ狭帯域フィルタを用いておくことが好ましい。なお、露光装置に適用されるレーザ装置ではその波長幅が1 pm程度以下に設定される。

【0060】

前記光アイソレータ170<sub>n</sub> (n=1、2、……、128)は、先に説明した光アイソレータ160Bと同様に戻り光の影響を低減するためのものである。

【0061】

前記ファイバ増幅器171<sub>n</sub> (n=1、2、……、128)としては、ここでは、光ファイバ中での非線形効果による増幅光のスペクトル幅の増加を避けるた

め光ファイバのモード径が通常通信で用いられているもの（ $5\sim 6\ \mu\text{m}$ ）よりも広い、例えば $20\sim 30\ \mu\text{m}$ の大モード径のEDFAが用いられている。このファイバ増幅器171<sub>n</sub>は、前述したファイバ増幅器168<sub>n</sub>で増幅された遅延部167の各チャンネルからの光出力を更に増幅する。一例として、遅延部167での各チャンネルの平均出力 $50\ \mu\text{W}$ 、全チャンネルでの平均出力 $6.3\ \text{mW}$ を2段のファイバ増幅器168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub>によって合計46dB（40600倍）の増幅を行うものとする、各チャンネルに対応する光経路172<sub>n</sub>の出力端（ファイバ増幅器171<sub>n</sub>を構成する光ファイバの出力端）では、ピーク出力20kW、パルス幅1ns、パルス繰り返し100kHz、平均出力2W、全チャンネル合計での平均出力256Wを得る。なお、このファイバ増幅器171<sub>n</sub>の励起光源等についても後述する。

#### 【0062】

本実施形態では、遅延部167での各チャンネルに対応する光経路172<sub>n</sub>の出力端、すなわちファイバ増幅器171<sub>n</sub>を構成する各光ファイバの出力端は、バンドル状に束ねられ、図4に示されるような断面形状を有するファイバーバンドル173が形成されている。このとき、各光ファイバのクラッド直径は $125\ \mu\text{m}$ 程度であることから、128本を束ねた出力端でのバンドルの直径は約2mm以下とすることができる。本実施形態では、ファイバーバンドル173は最終段のファイバ増幅器171<sub>n</sub>の出力端をそのまま用いて形成しているが、最終段のファイバ増幅器171<sub>n</sub>に無ドープの光ファイバを結合させ、その出力端でバンドルファイバを形成することも可能である。

#### 【0063】

なお、標準的なモード径を持つ前段のファイバ増幅器168<sub>n</sub>と、上記モード径の広い最終段のファイバ増幅器171<sub>n</sub>との接続は、テーパ状にモード径が増加する光ファイバを用いて行われている。

#### 【0064】

次に、図5に基づいて各ファイバ増幅器の励起用光源等について説明する。図5には、光増幅部161を構成するファイバ増幅器及びその周辺部が、波長変換部163の一部とともに概略的に示されている。

## 【0065】

この図5において、第1段のファイバ増幅器168<sub>n</sub>にはその励起用の半導体レーザ178がファイバ結合されるとともに、この半導体レーザ178の出力が波長分割多重化装置 (Wavelength Division Multiplexer:WDM) 179を通してファイバ増幅器用ドープ・ファイバに入力し、それによりこのドープ・ファイバが励起されるようになっている。

---

## 【0066】

一方大モード径をもつファイバ増幅器171<sub>n</sub>では、上記のモード径の大きいファイバ増幅器用ドープ・ファイバを励起するための励起用光源としての半導体レーザ174を、ファイバ増幅器用ドープ・ファイバの径に合わせた大モード径ファイバにファイバ結合し、この半導体レーザ174の出力を、WDM176を用いて、光増幅器用ドープ・ファイバに入力し、ドープ・ファイバを励起する。

## 【0067】

この大モード径ファイバ（ファイバ増幅器）171<sub>n</sub>で増幅されたレーザ光は波長変換部163に入射し、ここで紫外レーザ光に波長変換される。なお、この波長変換部163の構成等については後述する。

## 【0068】

大モード径ファイバ（ファイバ増幅器）171<sub>n</sub>を伝播する増幅されるべきレーザ光（信号）は、主に基本モードであることが望ましく、これは、シングルモードあるいはモード次数の低いマルチモードファイバにおいて、主に基本モードを選択的に励起することにより実現できる。

## 【0069】

本実施形態では、大モード径ファイバに結合された高出力半導体レーザを、前方向から4個及び後方向から4個ファイバ結合している。ここで、励起用半導体レーザ光を効率良く光増幅用ドープ・ファイバに結合するためには、光増幅用ドープ・ファイバとして、クラッドが2重構造となったダブルクラッド構造の光ファイバを用いることが望ましい。このとき、励起用半導体レーザ光は、WDM176により、ダブルクラッドの内側クラッドに導入される。

## 【0070】

前記半導体レーザ 178、174 は、光量制御装置 16C によって制御されるようになっている。

【0071】

また、本実施形態では、光経路 172<sub>n</sub> を構成する光ファイバとしてファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> が設けられているため、各ファイバ増幅器のゲインの差が各チャネルの光出力のばらつきとなる。このため、本実施形態では、各チャネルのファイバ増幅器（168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub>）で出力の一部が分岐され、それぞれの分岐端に設けられた光電変換素子 180、181 によってそれぞれ光電変換されるようになっている。これらの光電変換素子 180、181 の出力信号が光量制御装置 16C に供給されるようになっている。

【0072】

光量制御装置 16C では、各ファイバ増幅器からの光出力が各増幅段で一定になるように（即ちバランスするように）、各励起用半導体レーザ（178、174）のドライブ電流をフィードバック制御するようになっている。

【0073】

さらに、本実施形態では、図 5 に示されるように、波長変換部 163 の途中でビームスプリッタにより分岐された光が光電変換素子 182 によって光電変換され、該光電変換素子 182 の出力信号が光量制御装置 16C に供給されるようになっている。光量制御装置 16C では、この光電変換素子 182 の出力信号に基づいて波長変換部 163 における光強度をモニタし、波長変換部 163 からの光出力が所定の光出力となるように、励起用半導体レーザ 178、174 の少なくとも一方のドライブ電流をフィードバック制御する。

【0074】

このような構成とすることにより、各増幅段毎に各チャネルのファイバ増幅器の増幅率が一定化されるため、各ファイバ増幅器間に偏った負荷がかかることなく全体として均一な光強度が得られる。また、波長変換部 163 における光強度をモニタすることにより、予定される所定の光強度を各増幅段にフィードバックし、所望の紫外光出力を安定して得ることができる。

【0075】

なお、光量制御装置 16C については、後に更に詳述する。

【0076】

上述のようにして構成された光増幅部 161（バンドルファイバ 173 を形成する各光ファイバ出力端）からは、後述する偏光調整装置 16D によってパルス光がすべて円偏光に揃えられて出力される。これら円偏光であるパルス光は、1/4 波長板 162（図 2 参照）によって、すべて偏光方向が同一方向となる直線偏光に変換され、次段の波長変換部 163 に入射する。

【0077】

前記波長変換部 163 は、複数の非線形光学結晶を含み、前記増幅されたパルス光（波長  $1.544\ \mu\text{m}$  の光）をその 8 倍高調波又は 10 倍高調波に波長変換して、ArF エキシマレーザと同じ出力波長（ $193\ \text{nm}$ ）のパルス紫外光を発生する。

【0078】

図 6 には、この波長変換部 163 の構成例が示されている。ここで、この図に基づいて波長変換部 163 の具体例について説明する。なお、図 6 には、ファイバーバンドル 173 の出力端から射出される波長  $1.544\ \mu\text{m}$  の基本波を、非線形光学結晶を用いて 8 倍波（高調波）に波長変換して、ArF エキシマレーザと同じ波長である  $193\ \text{nm}$  の紫外光を発生する構成例を示す。

【0079】

図 6 の波長変換部 163 では、基本波（波長  $1.544\ \mu\text{m}$ ）→2 倍波（波長  $772\ \text{nm}$ ）→3 倍波（波長  $515\ \text{nm}$ ）→4 倍波（波長  $386\ \text{nm}$ ）→7 倍波（波長  $221\ \text{nm}$ ）→8 倍波（波長  $193\ \text{nm}$ ）の順に波長変換が行われる。

【0080】

これを更に詳述すると、ファイバーバンドル 173 の出力端から出力される波長  $1.544\ \mu\text{m}$ （周波数  $\omega$ ）の基本波は、1 段目の非線形光学結晶 533 に入射する。基本波がこの非線形光学結晶 533 を通る際に、2 次高調波発生により基本波の周波数  $\omega$  の 2 倍、すなわち周波数  $2\omega$ （波長は  $1/2$  の  $772\ \text{nm}$ ）の 2 倍波が発生する。なお、図 6（A）の場合には、上述の 1/4 波長板 162 による直線偏光化は、非線形光学結晶 533 において 2 倍波が最も効率良く発生す

る偏光方向となるように行われる。かかる直線偏光の偏光方向の設定は、1/4波長板 162 の光学軸の方向を調整することによって行われる。

#### 【0081】

この1段目の非線形光学結晶 533 として、 $\text{LiB}_3\text{O}_5$  (LBO) 結晶が用いられ、基本波を2倍波に波長変換するための位相整合にLBO結晶の温度調節による方法、NCPM (Non-Critical Phase Matching) が使用される。NCPM は、非線形光学結晶内での基本波と第二高調波との角度ずれ(Walk-off)が起こらないため高効率で2倍波への変換を可能にし、また発生した2倍波はWalk-offによるビームの変形も受けないため有利である。

#### 【0082】

非線形光学結晶 533 で波長変換されずに透過した基本波と、波長変換で発生した2倍波とは、次段の波長板 534 でそれぞれ半波長、1波長の遅延が与えられて、基本波のみその偏光方向が90度回転し、2段目の非線形光学結晶 536 に入射する。2段目の非線形光学結晶 536 としてLBO結晶が用いられるとともに、そのLBO結晶は1段目の非線形光学結晶 (LBO結晶) 533 とは温度が異なるNCPMで使用される。この非線形光学結晶 536 では、1段目の非線形光学結晶 533 で発生した2倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶 533 を透過した基本波とから和周波発生により3倍波 (波長 515 nm) を得る。

#### 【0083】

次に、非線形光学結晶 536 で得られた3倍波と、波長変換されずにその非線形光学結晶 536 を透過した基本波および2倍波とは、ダイクロイック・ミラー 537 により分離され、ここで反射された3倍波は集光レンズ 540、及びダイクロイック・ミラー 543 を通って4段目の非線形光学結晶 545 に入射する。一方、ダイクロイック・ミラー 537 を透過した基本波および2倍波は、集光レンズ 538 を通って3段目の非線形光学結晶 539 に入射する。

#### 【0084】

3段目の非線形光学結晶 539 としてはLBO結晶が用いられ、基本波が波長変換されずにそのLBO結晶を透過するとともに、2倍波がLBO結晶で2次高

調波発生により4倍波(波長386nm)に変換される。非線形光学結晶539で得られた4倍波とそれを透過した基本波とは、ダイクロイック・ミラー541により分離され、ここを透過した基本波は集光レンズ544を通るとともに、ダイクロイック・ミラー546で反射されて5段目の非線形光学結晶548に入射する。一方、ダイクロイック・ミラー541で反射された4倍波は、集光レンズ542を通過してダイクロイック・ミラー543に達し、ここでダイクロイック・ミラー537で反射された3倍波と同軸に合成されて4段目の非線形光学結晶545に入射する。

## 【0085】

4段目の非線形光学結晶545としては、 $\beta\text{-BaB}_2\text{O}_4$  (BBO) 結晶が用いられ、3倍波と4倍波とから和周波発生により7倍波(波長221nm)を得る。非線形光学結晶545で得られた7倍波は集光レンズ547を通るとともに、ダイクロイック・ミラー546で、ダイクロイック・ミラー541を透過した基本波と同軸に合成されて、5段目の非線形光学結晶548に入射する。

## 【0086】

5段目の非線形光学結晶548としてLBO結晶が用いられ、基本波と7倍波とから和周波発生により8倍波(波長193nm)を得る。上記構成において、7倍波発生用BBO結晶545、及び8倍波発生用LBO結晶548のかわりに、 $\text{CsLiB}_6\text{O}_{10}$  (CLBO) 結晶あるいは $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$  (LB4) 結晶を用いることも可能である。

## 【0087】

この図6の構成例では、4段目の非線形光学結晶545に3倍波と4倍波とが互いに異なる光路を通過して入射するので、3倍波を集光するレンズ540と、4倍波を集光するレンズ542とを別々の光路に置くことができる。3段目の非線形光学結晶539で発生した4倍波はその断面形状がWalk-off現象により長円形になっている。このため、4段目の非線形光学結晶545で良好な変換効率を得るためには、その4倍波のビーム整形を行うことが望ましい。この場合、集光レンズ540、542を別々の光路に配置しているので、例えばレンズ542としてシリンドリカルレンズ対を用いることができ、4倍波のビーム整形を容易に行



うことが可能となる。このため、4段目の非線形光学結晶（BBO結晶）545での3倍波との重なりを良好にし、変換効率を高めることが可能である。

【0088】

さらに、5段目の非線形光学結晶548に入射する基本波を集光するレンズ544と、7倍波を集光するレンズ547とを別々の光路に置くことができる。4段目の非線形光学結晶545で発生した7倍波はその断面形状がWalk-off現象により長円形になっている。このため、5段目の非線形光学結晶548で良好な変換効率を得るためには、その7倍波のビーム整形を行うことが好ましい。本実施例では、集光レンズ544、547を別々の光路に配置することができるので、例えばレンズ547としてシリンドリカルレンズ対を用いることができ、7倍波のビーム整形を容易に行うことが可能となる。このため、5段目の非線形光学結晶（LBO結晶）548での基本波との重なりを良好にし、変換効率を高めることが可能である。

【0089】

なお、2段目の非線形光学結晶536と4段目の非線形光学結晶545との間の構成は図6に限られるものではなく、非線形光学結晶536から発生してダイクロイック・ミラー537で反射される3倍波と、非線形光学結晶536から発生してダイクロイック・ミラー537を透過する2倍波を非線形光学結晶539で波長変換して得られる4倍波とが同時に非線形光学結晶545に入射するように、両非線形光学結晶536、545間の2つの光路長が等しくなっていれば、いかなる構成であっても構わない。このことは3段目の非線形光学結晶539と5段目の非線形光学結晶548との間でも同様である。

【0090】

発明者の行った実験によれば、図6の場合、各チャネル当たりの8倍波（波長193nm）の平均出力は、45.9mWであった。従って、全128チャネルを合わせたバンドルからの平均出力は5.9Wとなり、露光装置用光源として十分な出力の、波長193nmの紫外光を提供することができる。

【0091】

この場合、8倍波（193nm）の発生に、現在、市販品として良質の結晶が

容易に入手可能なLBO結晶が用いられている。このLBO結晶は、193 nmの紫外光の吸収係数が非常に小さく、結晶の光損傷が問題とならないため耐久性の面で有利である。

## 【0092】

また、8倍波（例えば波長193 nm）の発生部ではLBO結晶を角度位相整合させて用いるが、この位相整合角が大きいために実効非線形光学定数（ $d_{\text{eff}}$ ）が小さくなる。そこで、このLBO結晶に温度制御機構を設け、LBO結晶を高温で用いることが好ましい。これにより、位相整合角を小さくすることができる、即ち上記定数（ $d_{\text{eff}}$ ）を増加させることができ、8倍波発生効率を向上させることができる。

## 【0093】

なお、上記図6に示される波長変換部163は一例であって、本発明の波長変換部の構成がこれに限定されないことは勿論である。例えば、ファイバーバンドル173の出力端から射出される波長1.57  $\mu\text{m}$ の基本波を非線形光学結晶を用いて10倍波の高調波発生を行い、 $F_2$ レーザと同じ波長である157 nmの紫外光を発生することにしてもよい。

## 【0094】

図2に戻り、前記ビームモニタ機構164は、ここではファブリペロー・エタロン（Fabry-Perot etalon：以下、「エタロン素子」ともいう）及びフォトダイオード等の光電変換素子から成るエネルギーモニタ（いずれも図示省略）から構成されている。ビームモニタ機構164を構成するエタロン素子に入射した光は、エタロン素子の共鳴周波数と入射光の周波数との周波数差に対応した透過率で透過され、この時の透過光強度を検出したフォトダイオード等の出力信号がレーザ制御装置16Bに供給される。レーザ制御装置16Bではこの信号に所定の信号処理を施すことにより、ビームモニタ機構164、具体的にはエタロン素子に対する入射光の光学特性に関する情報（具体的は、入射光の中心波長及び波長幅（スペクトル半値幅）等）を得る。そして、この光学特性に関する情報は、リアルタイムで主制御装置50に通知される。

## 【0095】

エタロン素子の生成する透過光強度の周波数特性は、雰囲気温度や圧力の影響を受け、特にその共鳴周波数（共鳴波長）は温度依存性がある。このため、このエタロン素子の検出結果に基づいてレーザ光源 160A から発振されるレーザ光の中心波長やスペクトル半値幅を精度良く制御するためには、この共鳴波長の温度依存性を調べておくことが重要である。本実施形態では、この共鳴波長の温度依存性を予め計測し、この計測結果が温度依存性マップとして主制御装置 50 に併設された記憶装置としてのメモリ 51（図 1 参照）に記憶されている。そして、主制御装置 50 では、ビームモニタ機構 164 の絶対波長キャリブレーションの際等に、エタロン素子の透過率が最大となる共鳴波長（検出基準波長）が設定波長に正確に一致するようにするため、レーザ制御装置 16B に指示を与えて、ビームモニタ機構 164 内のエタロン素子の温度を積極的に制御するようになっている。

## 【0096】

また、ビームモニタ機構 164 を構成するエネルギーモニタの出力は、主制御装置 50 に供給されており、主制御装置 50 ではエネルギーモニタの出力に基づいてレーザ光のエネルギーパワーを検出し、レーザ制御装置 16B を介して DFB 半導体レーザ 160A で発振されるレーザ光の光量を必要に応じて制御したり、DFB 半導体レーザ 160A をオフしたりする。但し、本実施形態では、後述するように、通常の光量制御（露光量制御）は、主として光量制御装置 16C により、EOM 160C の出力パルス光のピークパワーあるいは周波数の制御、又は光増幅部 161 を構成する各ファイバ増幅器の出力光のオン・オフ制御によって行われるので、レーザ光のエネルギーパワーが何らかの原因で大きく変動した場合に主制御装置 50 がレーザ制御装置 16B を上記の如く制御することとなる。

## 【0097】

前記吸収セル 165 は、DFB 半導体レーザ 160A の発振波長の絶対波長キャリブレーション、すなわちビームモニタ機構 164 の絶対波長キャリブレーションのための絶対波長源である。本実施形態では、この吸収セル 165 として、レーザ光源として発振波長  $1.544\ \mu\text{m}$  の DFB 半導体レーザ 160A が用いられている関係から、この波長近傍の波長帯域に吸収線が密に存在するアセチレ

ンの同位体が用いられている。

【0098】

なお、後述するように、レーザ光の波長のモニタ用の光として、基本波とともにあるいはこれに代えて、上述した波長変換部163の中間波（2倍波、3倍波、4倍波等）あるいは波長変換後の光を選択する場合には、それらの中間波等の波長帯域に吸収線が密に存在する吸収セルを用いれば良い。例えば、波長のモニタ用の光として、3倍波を選択する場合には、波長503nm～530nmの近傍に吸収線が密に存在するヨウ素分子を吸収セルとして用い、そのヨウ素分子の適切な吸収線を選んでその波長を絶対波長とすれば良い。

【0099】

また、絶対波長源としては、吸収セルに限らず、絶対波長光源を用いても良い。

【0100】

前記レーザ制御装置16Bは、ビームモニタ機構164の出力に基づいてレーザ光の中心波長及び波長幅（スペクトル半値幅）を検出し、中心波長が所望の値（設定波長）となるようにDFB半導体レーザ160Aの温度制御（及び電流制御）をフィードバック制御にて行う。本実施形態では、DFB半導体レーザ160Aの温度を0.001℃単位で制御することが可能となっている。

【0101】

また、このレーザ制御装置16Bは、主制御装置50からの指示に応じて、DFB半導体レーザ160Aのパルス出力と連続出力との切替、及びそのパルス出力時における出力間隔やパルス幅などの制御を行うとともに、パルス光の出力変動を補償するように、DFB半導体レーザ160Aの発振制御を行う。

【0102】

このようにして、レーザ制御装置16Bでは、発振波長を安定化して一定の波長に制御したり、あるいは出力波長を微調整する。逆に、このレーザ制御装置16Bは、主制御装置50からの指示に応じて、DFB半導体レーザ160Aの発振波長を積極的に変化させてその出力波長を調整することもある。

【0103】

例えば、前者によれば、波長変動による投影光学系 PL の収差（結像特性）の発生、又はその変動が防止され、パターン転写中にその像特性（像質などの光学的特性）が変化することがなくなる。

【0104】

また、後者によれば、露光装置が組立、調整される製造現場と露光装置の設置場所（納入先）との標高差や気圧差、更には環境（クリーンルーム内の雰囲気）の違いなどに応じて生じる投影光学系 PL の結像特性（収差など）の変動を相殺でき、納入先で露光装置の立ち上げに要する時間を短縮することが可能になる。更に、後者によれば、露光装置の稼働中に、露光用照明光の照射、及び大気圧変化などに起因して生じる投影光学系 PL の収差、投影倍率、及び焦点位置などの変動も相殺でき、常に最良の結像状態でパターン像を基板上に転写することが可能となる。

【0105】

前記光量制御装置 16C は、前述したように、光増幅部 161 内のファイバ増幅器 168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub> の光出力を検出する光電変換素子 180、181 の出力に基づいて各励起用半導体レーザ（178、174）のドライブ電流をフィードバック制御して、各増幅段毎に各チャネルのファイバ増幅器の増幅率を一定化させる機能と、波長変換部 163 途中でビームスプリッタにより分岐された光を検出する光電変換素子 182 の出力信号に基づいて、励起用半導体レーザ 178、174 の少なくとも一方のドライブ電流をフィードバック制御して予定される所定の光強度を各増幅段にフィードバックし、所望の紫外光出力を安定させる機能とを有する。

【0106】

更に、本実施形態では、光量制御装置 16C は、次のような機能をも有している。

【0107】

すなわち、光量制御装置 16C は、

- ① 主制御装置 50 からの指示に応じて、ファイバーバンドル 173 を構成する各チャネルのファイバの出力、すなわち各光経路 172<sub>n</sub> の出力を個別にオン・

オフ制御することにより、バンドル全体での平均光出力の制御を行う機能（以下、便宜上「第1の機能」と呼ぶ）と、

② 主制御装置50からの指示に応じて、EOM160Cから出力されるパルス光の周波数を制御することにより、単位時間当たりの光増幅部161の各チャネルの平均光出力（出力エネルギー）、すなわち単位時間当たりの各光経路 $172_n$ からの出力光の強度を制御する機能（以下、便宜上「第2の機能」と呼ぶ）と、

③ 主制御装置50からの指示に応じて、EOM160Cから出力されるパルス光のピークパワーを制御することにより、単位時間当たりの光増幅部161の各チャネルの平均光出力（出力エネルギー）、すなわち単位時間当たりの各光経路 $172_n$ からの出力光の強度を制御する機能（以下、便宜上「第3の機能」と呼ぶ）と、を有する。

【0108】

この光量制御装置16Cの第1の機能によると、バンドル全体での平均光出力（光量）は、最大出力光量の $1/128$ 刻みで（約1%以下毎）に制御可能である。すなわち、ダイナミックレンジが $1 \sim 1/128$ という広い範囲に設定可能である。各光経路 $172_n$ は同じ構成部材を用いて構成されているので、設計上は、各光経路 $172_n$ の光出力は等しくなる筈であり、上記 $1/128$ 刻みの光量制御はリニアリティの良いものとなる。

【0109】

また、本実施形態では、光増幅部161の出力、すなわちファイバーバンドル173の出力を波長変換する波長変換部163が設けられているが、この波長変換部163出力は、各光経路 $172_n$ の出力、すなわちファイバ増幅器 $171_n$ の出力がオンであるファイバ数に比例するため、設定光量に対し、最大出力光量の $1/128$ 刻みのリニアな（約1%ごと）制御が原則的には可能となる筈である。

【0110】

しかしながら、実際には、製造上の誤差等に起因して各光経路 $172_n$ の出力のばらつきや、各光経路 $172_n$ の出力に対する波長変換効率のばらつき等が存在する可能性が高いので、予め各光ファイバ（光経路 $172_n$ ）の出力のばらつ

き、及び各光ファイバ出力に対する波長変換効率のばらつきに等に起因する出力のばらつきを測定し、その測定結果に基づいて各光ファイバからの光出力のオン・オフ状況に対応する波長変換部 163 からの光出力の強度のマップ（オンにするファイバグループに対応した出力強度の換算表）である第 1 の出力強度マップを作成し、その第 1 の出力強度マップを主制御装置 50 に併設されたメモリ 51 内に格納している。

#### 【0111】

そして、光量制御装置では、本第 1 の機能により光量制御を行う際に、主制御装置 50 から与えられる設定光量と上記の出力強度マップとに基づいて光量制御を行うようになっている。

#### 【0112】

また、光量制御装置 16C は、上記第 2 の機能における EOM160C から出力されるパルス光の周波数制御を、EOM160C に印加する矩形波（電圧パルス）の周波数を変えることにより行う。EOM160C から出力されるパルス光の周波数は EOM160C に印加する電圧パルスの周波数に一致するため、印加電圧を制御することにより出力パルス光の周波数を制御することとしたものである。

#### 【0113】

本実施形態の場合、前述の如く、EOM160C に印加する矩形波の周波数は 100kHz である。例えば、この周波数を 110kHz とすれば、EOM160C から出力される単位時間あたりの光パルス数は 10% 増加し、このパルスが、前述と同様に、遅延部 167 により各パルス毎に順次チャンネル 0 からチャンネル 127 の総計 128 チャンネルに振り分けられる結果、各チャンネルについて見ても単位時間当たりのパルス光は 10% 増加し、光パルス 1 個あたりの光エネルギーが同一、すなわちパルス光のピークパワーが一定であれば、単位時間当たりの各光経路 172<sub>n</sub> の出力光強度（光量）も 10% 増加する。

#### 【0114】

また、本実施形態では、光増幅部 161 の各チャンネルの出力光の波長変換を行う波長変換部 163 が設けられているが、この波長変換部 163 の単位時間当た

りの出力光の光量は、ピークパワーが一定であれば、各チャンネルの出力パルスの周波数に比例する。このように、本第2の機能による光量制御は、リニアリティに優れた制御となる。

## 【0115】

しかし、一般に、ファイバ増幅器の増幅利得は、入力光強度依存性があるため、EOM160Cの出力光の周波数を変えると、ファイバ増幅器168<sub>n</sub>、17

1<sub>n</sub>の入力光強度が変化し、その結果ファイバ増幅器168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub>から出力さえるパルス光のピークパワーが変化する場合があるので、実際には、上述のようリニアリティが得られるとは限らない。そこで、本実施形態では、予めファイバ増幅器出力の入力周波数強度依存性を測定し、それに基づいて光増幅部161に入力するパルス光の周波数に応じた光増幅部161（の各チャンネル）の出力強度のマップである第2の出力強度マップ（EOMの出力光の周波数に対応した光増幅部161の出力強度の換算表）を作成し、その第2の出力強度マップをメモリ51に記憶している。

## 【0116】

そして、光量制御装置16Cでは、本第2の機能により光量制御を行う際に、主制御装置50から与えられる設定光量と上記の第2の出力強度マップとに基づいて光量制御を行うようになっている。

## 【0117】

また、光量制御装置16Cは、上記第3の機能におけるEOM160Cから出力されるパルス光のピークパワーの制御を、EOM160Cへ印加する電圧パルスのピーク強度を制御することにより行う。EOM160Cの出力光のピークパワーはEOM160Cに印加する電圧パルスのピーク強度に依存するためである。

## 【0118】

しかし、前述の如く、ファイバ増幅器の増幅利得は、入力光強度依存性があるため、EOM160Cから出力されるパルス光のピーク強度を変えると、ファイバ増幅器168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub>の入力光強度が変化し、その結果ファイバ増幅器168<sub>n</sub>、171<sub>n</sub>から出力されるパルス光のピークパワーが変化する場合がある。フ



ファイバ増幅器 1 6 8<sub>n</sub>、1 7 1<sub>n</sub>を適切に設計することにより、このピークパワー変化を小さく抑えることも可能ではあるが、光ファイバ増幅器の光出力効率等の他の性能を低下させる場合がある。

【0 1 1 9】

そこで、本実施形態では、予めファイバ増幅器出力の入力パルスピーク強度依存性を測定し、それに基づいて光増幅部 1 6 1 に入力するパルス光のピーク強度に対応した光増幅部 1 6 1 (の各チャネル) の出力強度のマップである第 3 の出力強度マップ (E O M の出力光のピーク強度に対応した光増幅部 1 6 1 の出力パルス光の強度の換算表) を作成し、その第 3 の出力強度マップをメモリ 5 1 に記憶している。この第 3 の出力強度マップは、波長変換部出力である紫外光の強度マップであってもよい。

【0 1 2 0】

そして、光量制御装置 1 6 C では、本第 3 の機能により光量制御を行う際に、主制御装置 5 0 から与えられる設定光量と上記の第 3 の出力強度マップとに基づいて光量制御を行うようになっている。

【0 1 2 1】

なお、D F B 半導体レーザ 1 6 0 A の出力段に、E O M 1 6 0 C の他に透過率制御用の E O M を設け、この E O M に印加する電圧を変化させることによりその E O M の透過率を変化させて、単位時間あたりの光増幅部、波長変換部からの放出エネルギーを変えることも可能である。

【0 1 2 2】

これまでの説明から明らかなように、光量制御装置 1 6 C による第 2、第 3 の機能では、第 1 の機能に比べて、より細やかな光源装置 1 6 の出力光の光量制御が可能である。一方、第 1 の機能は、第 2、第 3 の機能に比べて、ダイナミックレンジを広く設定することが可能である。

【0 1 2 3】

そこで、本実施形態では、後述する露光に際して、光量制御装置 1 6 C の上記第 1 の機能により露光量の粗調整を行い、第 2、第 3 の機能を用いて露光量の微調整を行うようになっている。これについては、後述する。

【0124】

光量制御装置 16C は、この他、主制御装置 50 からの指示に基づいてパルス出力の開始と停止なども制御する。

【0125】

前記偏光調整装置 16D は、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> よりも前段の光部品の偏光特性を制御することにより、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> から射出される光を円偏光化する。なお、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> のドープ・ファイバがほぼ円筒対称な構造を有しており、かつ、比較的短い場合には、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> に入射する光を円偏光化することによっても、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> から射出される光を円偏光化することができる。

【0126】

ここで、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> よりも前段の光部品には、上述した光増幅部 161 の各要素を光学的に結合するための不図示のリレー光ファイバ等がある。こうしたリレー光ファイバ等の偏光特性の制御方法としては、例えばリレー光ファイバに非等方的な力学的ストレスを加える方法があり、本実施形態でもこの方法を採用している。

【0127】

一般に、リレー光ファイバは円筒対称な屈折率分布を有しているが、非等方的な力学的ストレスが加わると非等方的な応力がリレー光ファイバに発生し、この応力により非等方的な屈折率分布が生じる。こうした非等方的な屈折率分布の発生量を制御することによって、リレー光ファイバの偏光特性を制御することができる。

【0128】

また、リレー光ファイバの応力による屈折率分布の変化量や他の光部品の偏光特性は一般に温度に依存している。このため、偏光調整装置 16D は、リレー光ファイバ等の周囲温度を一定とする温度制御を行って、一度行った円偏光化が維持可能としている。

【0129】

なお、上記の温度制御を行わずに、リレー光ファイバよりも下流側のいずれか

の位置で光の偏光状態のモニタを行い、このモニタ結果に基づいて、リレー光ファイバの偏光特性すなわち屈折率分布を制御してもよい。

#### 【0 1 3 0】

図 1 に戻り、前記照明光学系 1 2 は、ビーム整形光学系 1 8、オプティカルインテグレータ（ホモジナイザ）としてのフライアイレンズ系 2 2、照明系開口絞り板 2 4、ビームスプリッタ 2 6、第 1 リレーレンズ 2 8 A、第 2 リレーレンズ 2 8 B、固定レチクルブラインド 3 0 A、可動レチクルブラインド 3 0 B、光路折り曲げ用のミラー M 及びコンデンサレンズ 3 2 等を備えている。

#### 【0 1 3 1】

前記ビーム整形光学系 1 8 は、光源装置 1 6 の波長変換部 1 6 3 の波長変換により発生した紫外域の光、（以下、「レーザビーム」と呼ぶ）L B の断面形状を、該レーザビーム L B の光路後方に設けられたフライアイレンズ系 2 2 に効率良く入射するように整形するもので、例えばシリンダレンズやビームエキスパンダ（いずれも図示省略）等で構成される。

#### 【0 1 3 2】

前記フライアイレンズ系 2 2 は、ビーム整形光学系 1 8 から出たレーザビーム L B の光路上に配置され、レチクル R を均一な照度分布で照明するために多数の光源像からなる面光源、即ち 2 次光源を形成する。この 2 次光源から射出されるレーザビームを本明細書においては、「露光光 I L」とも呼んでいる。

#### 【0 1 3 3】

フライアイレンズ系 2 2 の射出面の近傍に、円板状部材から成る照明系開口絞り板 2 4 が配置されている。この照明系開口絞り板 2 4 には、等角度間隔で、例えば通常の円形開口より成る開口絞り、小さな円形開口より成りコヒーレンスファクタである  $\sigma$  値を小さくするための開口絞り、輪帯照明用の輪帯状の開口絞り、及び変形光源法用に複数の開口を偏心させて配置して成る変形開口絞り（図 1 ではこのうちの 2 種類の開口絞りのみが図示されている）等が配置されている。この照明系開口絞り板 2 4 は、主制御装置 5 0 により制御されるモータ等の駆動装置 4 0 により回転されるようになっており、これによりレチクルパターンに応じていずれかの開口絞りが露光光 I L の光路上に選択的に設定される。

## 【0134】

照明系開口絞り板24から出た露光光ILの光路上に、反射率が小さく透過率の大きなビームスプリッタ26が配置され、更にこの後方の光路上に、固定レチクルブラインド30A及び可動レチクルブラインド30Bを介在させて第1リレーレンズ28A及び第2リレーレンズ28Bから成るリレー光学系が配置されている。

## 【0135】

固定レチクルブラインド30Aは、レチクルRのパターン面に対する共役面から僅かにデフォーカスした面に配置され、レチクルR上の照明領域42Rを規定する矩形開口が形成されている。また、この固定レチクルブラインド30Aの近傍に走査方向の位置及び幅が可変の開口部を有する可動レチクルブラインド30Bが配置され、走査露光の開始時及び終了時にその可動レチクルブラインド30Bを介して照明領域42Rを更に制限することによって、不要な部分の露光が防止されるようになっている。

## 【0136】

リレー光学系を構成する第2リレーレンズ28B後方の露光光ILの光路上には、当該第2リレーレンズ28Bを通過した露光光ILをレチクルRに向けて反射する折り曲げミラーMが配置され、このミラーM後方の露光光ILの光路上にコンデンサレンズ32が配置されている。

## 【0137】

更に、照明光学系12内のビームスプリッタ26で垂直に折り曲げられる一方の光路上、他方の光路上には、インテグレータセンサ46、反射光モニタ47がそれぞれ配置されている。これらインテグレータセンサ46、反射光モニタ47としては、遠紫外域及び真空紫外域で感度が良く、且つ光源装置16のパルス発光を検出するために高い応答周波数を有するSi系PIN型フォトダイオードが用いられている。なお、インテグレータセンサ46、反射光モニタ47としてGaN系結晶を有する半導体受光素子を用いることも可能である。

## 【0138】

以上の構成において、フライアイレンズ系22の入射面、可動レチクルブライ

ンド 3 0 B の配置面、レチクル R のパターン面は、光学的に互いに共役に設定され、フライアイレンズ系 2 2 の射出面側に形成される光源面、投影光学系 P L のフーリエ変換面（射出瞳面）は光学的に互いに共役に設定され、ケーラー照明系となっている。

## 【 0 1 3 9 】

このようにして構成された照明系 1 2 の作用を簡単に説明すると、光源装置 1

6 からパルス発光されたレーザビーム L B は、ビーム整形光学系 1 8 に入射して、ここで後方のフライアイレンズ系 2 2 に効率良く入射するようにその断面形状が整形された後、フライアイレンズ系 2 2 に入射する。これにより、フライアイレンズ系 2 2 の射出側焦点面（照明光学系 1 2 の瞳面）に 2 次光源が形成される。この 2 次光源から射出された露光光 I L は、照明系開口絞り板 2 4 上のいずれかの開口絞りを通じた後、透過率が大きく反射率が小さなビームスプリッタ 2 6 に至る。このビームスプリッタ 2 6 を透過した露光光 I L は、第 1 リレーレンズ 2 8 A を経て固定レチクルブラインド 3 0 A の矩形の開口部及び可動レチクルブラインド 3 0 B を通過した後、第 2 リレーレンズ 2 8 B を通過してミラー M によって光路が垂直下方に折り曲げられた後、コンデンサレンズ 3 2 を経て、レチクルステージ R S T 上に保持されたレチクル R 上の矩形の照明領域 4 2 R を均一な照度分布で照明する。

## 【 0 1 4 0 】

一方、ビームスプリッタ 2 6 で反射された露光光 I L は、集光レンズ 4 4 を介してインテグレータセンサ 4 6 で受光され、インテグレータセンサ 4 6 の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及び A / D 変換器を介して出力 D S (digit/pulse) として主制御装置 5 0 に供給される。このインテグレータセンサ 4 6 の出力 D S と、ウエハ W の表面上での露光光 I L の照度（露光量）との相関係数は、主制御装置 5 0 に併設された記憶装置としてのメモリ 5 1 内に記憶されている。

## 【 0 1 4 1 】

また、レチクル R 上の照明領域 4 2 R を照明しそのレチクルのパターン面（図 1 における下面）で反射された反射光束は、コンデンサレンズ 3 2、リレー光学

系を前と逆向きに通過し、ビームスプリッタ 26 で反射され、集光レンズ 48 を介して反射光モニタ 47 で受光される。また、Zチルトステージ 58 が投影光学系 PL の下方にある場合には、レチクルのパターン面を透過した露光光 IL は、投影光学系 PL 及びウエハ W の表面（あるいは後述する基準マーク板 FM 表面）で反射され、その反射光束は、投影光学系 PL、レチクル R、コンデンサレンズ 32、リレー光学系を前と逆向きに順次通過し、ビームスプリッタ 26 で反射さ

れ、集光レンズ 48 を介して反射光モニタ 47 で受光される。また、ビームスプリッタ 26 とウエハ W との間に配置される各光学素子はその表面に反射防止膜が形成されているものの、その表面で露光光 IL がわずかに反射され、これら反射光も反射光モニタ 47 で受光される。この反射光モニタ 47 の光電変換信号が、不図示のピークホールド回路及び A/D 変換器を介して主制御装置 50 に供給される。反射光モニタ 47 は、本実施形態では、主としてウエハ W の反射率の測定等に用いられる。なお、この反射光モニタ 47 を、レチクル R の透過率の事前測定の際に用いても良い。

#### 【0142】

なお、フライアイレンズ系 22 として、例えば特開平 1-235289 号公報（対応米国特許第 5,307,207 号）、特開平 7-142354 号（対応米国特許第 5,534,970 号）などに開示されるダブルフライアイレンズ系を採用し、ケーラー照明系を構成しても良い。

#### 【0143】

また、フライアイレンズ系 22 とともに、回折光学素子 (diffractive optical element) を用いても良い。かかる回折光学素子を用いる場合には、光源装置 16 と照明光学系 12 とを回折光学素子を介して接続するようにしても良い。すなわち、ファイバーバンドル 173 の各ファイバーに対応して回折素子が形成される回折光学素子をビーム整形光学系 18 に設け、各ファイバーから出力されるレーザビームを回折させて、フライアイレンズ系 22 の入射面上で重畳させるようにしてもよい。本例では、ファイバーバンドル 173 の出力端を照明光学系の瞳面に配置してもよいが、この場合には第 1 の機能（間引き）によってその瞳面上での強度分布（即ち 2 次光源の形状や大きさなど）が変化することになり、レ

チクルパターンに最適な形状、大きさとは異なってしまふことがある。そこで、前述の回折光学素子などを用いて照明光学系の瞳面、又はオプティカルインテグレータの入射面上で各ファイバーからのレーザビームを重畳させるようにすることが望ましい。

【0144】

いずれにしても、本実施形態では、前述した光量制御装置 16C の第 1 の機能によりファイバーバンドル 173 の光を出力する部分の分布が変化した場合であっても、レチクル R のパターン面（物体面）上及びウエハ W の面（像面）上のいずれにおいても照度分布の均一性を十分に確保することができる。

【0145】

前記レチクルステージ RST 上にレチクル R が載置され、不図示のパキュームチャック等を介して吸着保持されている。レチクルステージ RST は、水平面（XY 平面）内で微小駆動可能であるとともに、レチクルステージ駆動部 49 によって走査方向（ここでは図 1 の紙面左右方向である Y 方向とする）に所定ストローク範囲で走査されるようになっている。この走査中のレチクルステージ RST の位置及び回転量は、レチクルステージ RST 上に固定された移動鏡 52R を介して外部のレーザ干渉計 54R によって計測され、このレーザ干渉計 54R の計測値が主制御装置 50 に供給されるようになっている。

【0146】

なお、レチクル R に用いる材質は、露光光 IL の波長によって使い分ける必要がある。すなわち、波長 193 nm の露光光を用いる場合には合成石英を用いることができるが、波長 157 nm の露光光を用いる場合は、ホタル石、フッ素がドープされた合成石英、あるいは水晶などで形成する必要がある。

【0147】

前記投影光学系 PL は、例えば両側テレセントリックな縮小系であり、共通の Z 軸方向の光軸を有する複数枚のレンズエレメント 70a、70b、……から構成されている。また、この投影光学系 PL としては、投影倍率  $\beta$  が例えば  $1/4$ 、 $1/5$ 、 $1/6$  などのものが使用されている。このため、前記の如くして、露光光 IL によりレチクル R 上の照明領域 42R が照明されると、そのレチクル R

に形成されたパターンが投影光学系 PL によって投影倍率  $\beta$  で縮小された像が表面にレジスト（感光剤）が塗布されたウエハ W 上のスリット状の露光領域 42W に投影され転写される。

## 【0148】

本実施形態では、上記のレンズエレメントのうち、複数のレンズエレメントがそれぞれ独立に移動可能となっている。例えば、レチクルステージ RST に最も近い一番上のレンズエレメント 70a は、リング状の支持部材 72 により保持され、この支持部材 72 は、伸縮可能な駆動素子、例えばピエゾ素子 74a, 74b, 74c（紙面奥側の駆動素子 74c は図示せず）によって、3 点支持されるとともに鏡筒部 76 と連結されている。上記の駆動素子 74a, 74b, 74c によって、レンズエレメント 70a の周辺 3 点を独立に、投影光学系 PL の光軸 AX 方向に移動させることができるようになっている。すなわち、レンズエレメント 70a を駆動素子 74a, 74b, 74c の変位量に応じて光軸 AX に沿って平行移動させることができるとともに、光軸 AX と垂直な平面に対して任意に傾斜させることもできる。そして、これらの駆動素子 74a, 74b, 74c に与えられる電圧が、主制御装置 50 からの指令に基づいて結像特性補正コントローラ 78 によって制御され、これによって駆動素子 74a, 74b, 74c の変位量が制御されるようになっている。なお、図 1 中、投影光学系 PL の光軸 AX とは鏡筒部 76 に固定されているレンズエレメント 70b その他のレンズエレメント（図示省略）の光軸を指す。

## 【0149】

また、本実施形態では、予め実験によりレンズエレメント 70a の上下量と倍率（又はディストーション）の変化量との関係を求めておき、これを主制御装置 50 内部のメモリに記憶しておき、補正時に主制御装置 50 が補正する倍率（又はディストーション）からレンズエレメント 70a の上下量を計算し、結像特性補正コントローラ 78 に指示を与えて駆動素子 74a, 74b, 74c を駆動することにより倍率（又はディストーション）補正を行うようになっている。なお、前記レンズエレメント 70a の上下量と倍率等の変化量との関係は光学的な計算値を用いてもよく、この場合は前記レンズエレメント 70a の上下量と倍率変



化量との関係を求める実験の工程が省けることになる。

【0150】

前記の如く、レチクルRに最も近いレンズエレメント70aが移動可能となっているが、このエレメント70aは倍率、ディストーション特性に与える影響が他のレンズエレメントに比べて大きく制御しやすいものの1つを選択したものであって、同様の条件を満たすものであれば、このレンズエレメント70aに代えてどのレンズエレメントをレンズ間隔調整のために移動可能に構成しても良い。

【0151】

なお、レンズエレメント70a以外の少なくとも1つのレンズエレメントを移動して他の光学特性、例えば像面湾曲、非点収差、コマ収差、又は球面収差などを調整できるようになっている。この他、投影光学系PLの光軸方向中央部近傍の特定のレンズエレメント相互間に密封室を設け、この密封室内の気体の圧力を例えばベローズポンプ等の圧力調整機構により調整することにより、投影光学系PLの倍率を調整する結像特性補正機構を設けても良く、あるいは、例えば、投影光学系PLを構成する一部のレンズエレメントとして非球面状レンズを用い、これを回転させるようにしても良い。この場合には、いわゆるひし形ディストーションの補正が可能になる。あるいは、投影光学系PL内に平行平板を設け、これをチルトさせたり、回転させたりするような機構により結像特性補正機構を構成しても良い。

【0152】

なお、露光光ILとして波長193nmのレーザ光を用いる場合には、投影光学系PLを構成する各レンズエレメント（及び上記平行平板）としては合成石英やホタル石等を用いることができるが、波長157nmのレーザ光を用いる場合には、この投影光学系PLに使用されるレンズ等の材質は、全てホタル石が用いられる。

【0153】

前記XYステージ14は、ウエハステージ駆動部56によって走査方向であるY方向及びこれに直交するX方向（図1における紙面直交方向）に2次元駆動されるようになっている。このXYステージ14上に搭載されたZチルトステージ

58 上に不図示のウエハホルダ 61 を介してウエハ W が真空吸着等により保持されている。Z チルトステージ 58 は、例えば 3 つのアクチュエータ（ピエゾ素子又はボイスコイルモータなど）によってウエハ W の Z 方向の位置（フォーカス位置）を調整すると共に、XY 平面（投影光学系 PL の像面）に対するウエハ W の傾斜角を調整する機能を有する。また、XY ステージ 14 の位置は、Z チルトステージ 58 上に固定された移動鏡 52 W を介して外部のレーザ干渉計 54 W により計測され、このレーザ干渉計 54 W の計測値が主制御装置 50 に供給されるようになっている。

## 【0154】

ここで、移動鏡は、実際には、X 軸に垂直な反射面を有する X 移動鏡と Y 軸に垂直な反射面を有する Y 移動鏡とが存在し、これに対応してレーザ干渉計も X 軸位置計測用、Y 軸位置計測用、及び回転（ヨーイング量、ピッチング量、ローリング量を含む）計測用のものがそれぞれ設けられているが、図 1 では、これらが代表的に、移動鏡 52 W、レーザ干渉計 54 W として示されている。

## 【0155】

また、Z チルトステージ 58 上には、ウエハ W の近傍に、ウエハ W の露光面と同じ高さの受光面を有し、投影光学系 PL を通過した露光光 IL の光量を検出するための照射量モニタ 59 が設けられている。照射量モニタ 59 は、露光領域 42 W より一回り大きな X 方向に延びる平面視長方形のハウジングを有し、このハウジングの中央部に露光領域 42 W とほぼ同じ形状のスリット状の開口が形成されている。この開口は、実際にはハウジングの天井面を形成する合成石英等から成る受光ガラスの上面に形成された遮光膜の一部が取り除かれて形成されている。前記開口の真下にレンズを介して Si 系 PIN 型フォトダイオード等の受光素子を有する光センサが配置されている。

## 【0156】

照射量モニタ 59 は、露光領域 42 W に照射される露光光 IL の強度測定に用いられる。照射量モニタ 59 を構成する受光素子の受光量に応じた光量信号が主制御装置 50 に供給されるようになっている。

## 【0157】

なお、光センサは、必ずしもZチルトステージ58の内部に設ける必要はなく、Zチルトステージ58の外部に光センサを配置し、リレー光学系でリレーされた照明光束を、光ファイバ等を介してその光センサに導くようにしても良いことは勿論である。

【0158】

Zチルトステージ58上には、後述するレチクルアライメント等を行う際に使用される基準マーク板FMが設けられている。この基準マーク板FMは、その表面がウエハWの表面とほぼ同一の高さとされている。この基準マーク板FMの表面には、レチクルアライメント用基準マーク、ベースライン計測用基準マーク等の基準マークが形成されている。

【0159】

また、図1では図面の錯綜を避ける観点から図示が省略されているが、この露光装置10は、実際にはレチクルアライメントを行うためのレチクルアライメント系を備えている。

【0160】

レチクルRのアライメントを行う場合には、まず主制御装置50によりレチクルステージ駆動部49、ウエハステージ駆動部56を介してレチクルステージRST及びXYステージ14が駆動され、矩形の露光領域42W内に基準マーク板FM上のレチクルアライメント用基準マークが設定され、その基準マークにレチクルR上のレチクルマーク像がほぼ重なるようにレチクルRとZチルトステージ58との相対位置が設定される。この状態で、主制御装置50によりレチクルアライメント系を用いて両マークが撮像され、主制御装置50では、その撮像信号を処理して対応する基準マークに対するレチクルマークの投影像のX方向、Y方向の位置ずれ量を算出する。

【0161】

また、上記のレチクルのアライメントの結果得られた基準マークの投影像の検出信号（画像信号）に含まれるコントラスト情報に基づいてフォーカスオフセットやレベリングオフセット（投影光学系PLの焦点位置、像面傾斜など）を求めることも可能である。

## 【0162】

また、本実施形態では、上記のレチクルアライメント時に、主制御装置50によって、投影光学系PLの側面に設けられた不図示のウエハ側のオフアクシス・アライメントセンサのベースライン量の計測も行われる。すなわち、基準マーク板FM上には、レチクルアライメント用基準マークに対して所定の位置関係でベースライン計測用基準マークが形成されており、レチクルアライメント系を介してレチクルマークの位置ずれ量を計測する際に、そのウエハ側のアライメントセンサを介してベースライン計測用基準マークのそのアライメントセンサの検出中心に対する位置ずれ量を計測することで、アライメントセンサのベースライン量、すなわちレチクル投影位置とアライメントセンサとの相対位置関係が計測される。

## 【0163】

更に、本実施形態の露光装置10では、図1に示されるように、主制御装置50によってオン・オフが制御される光源を有し、投影光学系PLの結像面に向けて多数のピンホールまたはスリットの像を形成するための結像光束を、光軸AXに対して斜め方向より照射する照射光学系60aと、それらの結像光束のウエハW表面での反射光束を受光する受光光学系60bとからなる斜入射光式の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）が設けられている。主制御装置50では、受光光学系60b内の図示しない平行平板の反射光束の光軸に対する傾きを制御することにより、投影光学系PLのフォーカス変動に応じて焦点検出系（60a、60b）にオフセットを与えてそのキャリブレーションを行う。これにより、前述の露光領域42W内で投影光学系PLの像面とウエハWの表面とがその焦点深度の範囲（幅）内で合致することになる。なお、本実施形態と同様の多点焦点位置検出系（フォーカスセンサ）の詳細な構成は、例えば特開平6-283403号公報等に関示されている。

## 【0164】

走査露光時等に、主制御装置50では、受光光学系60bからの焦点ずれ信号（デフォーカス信号）、例えばSカーブ信号に基づいて焦点ずれが零となるようにZチルトステージ58のZ位置を不図示の駆動系を介して制御することにより

、オートフォーカス（自動焦点合わせ）及びオートレベリングを実行する。

【0165】

なお、受光光学系60b内に平行平板を設けて焦点検出系（60a, 60b）にオフセットを与えるようにしたのは、例えば、倍率補正のためにレンズエレメント70aを上下することによりフォーカスも変化し、また、投影光学系PLが露光光ILを吸収することにより結像特性が変化して結像面の位置が変動するので、かかる場合に焦点検出系にオフセットを与え、焦点検出系の合焦位置を投影光学系PLの結像面の位置に一致させる必要があるためである。このため、本実施形態では、レンズエレメント70aの上下量とフォーカス変化量の関係も予め実験により求め、主制御装置50内部のメモリに記憶している。なお、レンズエレメント70aの上下量とフォーカス変化量の関係は計算値を用いても良い。また、オートレベリングでは走査方向については行わず、その走査方向と直交する非走査方向のみに関して行うようにしても良い。

【0166】

前記主制御装置50は、CPU（中央演算処理装置）、ROM（リード・オンリ・メモリ）、RAM（ランダム・アクセス・メモリ）等から成るいわゆるマイクロコンピュータ（又はワークステーション）を含んで構成され、これまでに説明した各種の制御を行う他、露光動作が的確に行われるように、例えばレチクルRとウエハWの同期走査、ウエハWのステッピング、露光タイミング等を制御する。また、本実施形態では、主制御装置50は、後述するように走査露光の際の露光量の制御を行ったり、投影光学系PLの結像特性の変動量を演算にて算出し、その算出結果に基づいて結像特性補正コントローラ78を介して投影光学系PLの結像特性を調整する等の他、装置全体を統括制御する。

【0167】

具体的には、主制御装置50は、例えば走査露光時には、レチクルRがレチクルステージRSTを介して+Y方向（又は-Y方向）に速度 $V_R = V$ で走査されるのに同期して、XYステージ14を介してウエハWが露光領域42Wに対して-Y方向（又は+Y方向）に速度 $V_W = \beta \cdot V$ （ $\beta$ はレチクルRからウエハWに対する投影倍率）で走査されるように、レーザ干渉計54R、54Wの計測値に

基づいてレチクルステージ駆動部 4 9、ウエハステージ駆動部 5 6 をそれぞれ介してレチクルステージ R S T、X Y ステージ 1 4 の位置及び速度をそれぞれ制御する。また、ステッピングの際には、主制御装置 5 0 ではレーザ干渉計 5 4 W の計測値に基づいてウエハステージ駆動部 5 6 を介して X Y ステージ 1 4 の位置を制御する。

【 0 1 6 8 】

次に、本実施形態の露光装置 1 0 において所定枚数 (N 枚) のウエハ W 上にレチクルパターンの露光を行う場合の露光シーケンスについて主制御装置 5 0 の制御動作を中心として説明する。

【 0 1 6 9 】

まず、主制御装置 5 0 では、不図示のレチクルローダを用いて露光対象のレチクル R をレチクルステージ R S T 上にロードする。

【 0 1 7 0 】

次いで、前述した如く、レチクルアライメント系を用いてレチクルアライメントを行うとともに、ベースライン計測を行う。

【 0 1 7 1 】

次に、主制御装置 5 0 では、不図示のウエハ搬送系にウエハ W の交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及び X Y ステージ 1 4 上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換 (ステージ上にウエハが無い場合は、単なるウエハロード) が行われ、次いでいわゆるサーチアライメント及びファインアライメント (E G A 等) の一連のアライメント工程の処理を行う。これらのウエハ交換、ウエハアライメントは、公知の露光装置と同様に行われるので、ここではこれ以上の詳細な説明は省略する。

【 0 1 7 2 】

次に、上記のアライメント結果及びショットマップデータに基づいて、ウエハ W 上の各ショット領域の露光のための走査開始位置にウエハ W を移動させる動作と、前述した走査露光動作とを繰り返し行って、ステップ・アンド・スキャン方式でウエハ W 上の複数のショット領域にレチクルパターンを転写する。この走査露光中に、主制御装置 5 0 では、露光条件及びレジスト感度に応じて決定された

目標積算露光量をウエハWに与えるため、インテグレータセンサ46の出力をモニタしつつ光量制御装置16Cに指令を与える。これにより、光量制御装置16Cでは、前述した第1の機能により露光量の粗調整を行うとともに、前述した第2の機能、第3の機能により、光源装置16からのレーザビーム（紫外パルス光）の周波数及びピークパワーを制御し、露光量の微調整を実行する。

【0173】

また、主制御装置50では、照明系開口絞り板24を駆動装置40を介して制御し、更にステージ系の動作情報に同期して可動レチクルブラインド30Bの開閉動作を制御する。

【0174】

1枚目のウエハWに対する露光が終了すると、主制御装置50では、不図示のウエハ搬送系にウエハWの交換を指示する。これにより、ウエハ搬送系及びXYステージ14上の不図示のウエハ受け渡し機構によってウエハ交換が行われ、以後上記と同様にしてその交換後のウエハに対してサーチアライメント、ファインアライメントを行う。また、この場合、主制御装置50により1枚目のウエハWに対する露光開始からの投影光学系PLの結像特性（フォーカスの変動を含む）の照射変動が、インテグレータセンサ46及び反射光モニタ47の計測値に基づいて求められ、この照射変動を補正するような指令値を結像特性補正コントローラ78に与えると同時に受光光学系60bにオフセットを与える。また、主制御装置50では、大気圧センサ77の計測値に基づいて、投影光学系PLの結像特性の大気圧変動分も求めて、この照射変動を補正するような指令値を結像特性補正コントローラ78に与えると同時に受光光学系60bにオフセットを与える。

【0175】

そして、上記と同様に、このウエハW上の複数のショット領域にステップ・アンド・スキャン方式でレチクルパターンを転写する。

【0176】

この場合、前述した露光量（光量）の粗調整を、実露光前にテスト発光を行い、露光量設定値に対し、1%以下の精度で制御を確実に行うようにしても良い。

【0177】

本実施形態の露光量の粗調整のダイナミックレンジは、 $1 \sim 1/128$ の範囲内で設定可能であるが、通常要求されるダイナミックレンジは、典型的には $1 \sim 1/7$ 程度であるため、光出力をオンにすべきチャネル数（光ファイバ数）を $128 \sim 18$ の間で制御することによって行えば良い。このように、本実施形態では、各チャネルの光出力の個別オン・オフによる露光量制御により、ウエハ毎のレジスト感度等の違いにあわせた露光量の粗調整を正確に行うことができる。

【0178】

また、上述した光量制御装置 16 C による、第 2、第 3 の機能による光量制御は、制御速度が速く、制御精度が高いという特徴を持つため、以下の現状の露光装置に要求されている制御要請を確実に満たすことが可能である。

【0179】

従って、露光量制御のためには、光量制御装置 16 C では、第 2、第 3 の機能による光量制御の少なくとも一方を行えば足りる。

【0180】

また、本実施形態の露光装置 10 においても、光量制御装置 16 C の第 2、第 3 の機能による光量制御のいずれかと、スキャン速度とを組み合わせ、露光量を制御するようにしても、勿論良い。

【0181】

なお、ウエハ W 上に転写すべきレチクルパターンに応じてウエハ W の露光条件を変更する、例えば照明光学系の瞳面上での照明光の強度分布（即ち 2 次光源の形状や大きさ）を変化させたり、あるいは投影光学系 P L のほぼ瞳面上でその光軸を中心とする円形領域を遮光する光学フィルターを挿脱する。この露光条件の変更によってウエハ W 上での照度に変化するが、このことはレチクルパターンの変更によっても生じる。これは、パターンの遮光部（又は透過部）の占有面積の違いによるものである。そこで、露光条件及び／又はレチクルパターンの変更によって照度に変化するとき、ウエハ（レジスト）に適正な露光量を与えられるように、前述した周波数とピークパワーとの少なくとも一方を制御することが望ましい。このとき、周波数及びピークパワーの少なくとも一方に加えてレチクル及びウエハの走査速度を調整するようにしてもよい。



## 【0182】

以上説明したように、本実施形態に係る光源装置によれば、偏光調整装置 16D が、光ファイバ増幅器  $171_n$  それぞれから射出される光束の偏光状態を円偏光に揃え、これらの光束の全てを 1 枚の  $1/4$  波長板 162 によって同一方向の直線偏光に変換して射出する。したがって、 $1/4$  波長板の光学軸方向を適当に設定することにより、後段の波長変換部 163 において効率良く波長変換された光を発生することができる。また、偏光方向変換装置が 1 枚の  $1/4$  波長板 162 という極めて簡単な構成となるので、光源装置 16 全体としての小型化を図ることもできる。

## 【0183】

また、本実施形態に係る光源装置 16 によれば、光ファイバ増幅器  $171_n$  から射出された複数の光束を同一方向の直線偏光としているので、 $1/4$  波長板 162 から射出される光を、それぞれが高強度であり、かつ同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束を得ることができる。この結果、光源装置 16 としての射出光光量の増大を図ることができる。

## 【0184】

また、本実施形態に係る光源装置 16 によれば、光ファイバ増幅器  $171_n$  に入射する複数の光束それぞれをパルス光列とするので、各パルス光列における光パルスの繰り返し周期やパルス高を調整することにより、光源装置 16 としての射出光の光量を精度良く制御することができる。

## 【0185】

また、本実施形態に係る光源装置 16 によれば、光ファイバ増幅器  $171_n$  に入射する複数の光束それぞれが、光ファイバ増幅器  $171_n$  に入射する前に、光ファイバ増幅器  $167_n$  によって増幅された光束であるので、多段の光ファイバ増幅器  $167_n$ 、 $171_n$  による多段の光増幅作用により、光源装置 16 としての射出光光量の増大を図ることができる。

## 【0186】

また、本実施形態に係る光源装置 16 によれば、光ファイバ増幅器  $171_n$  よりも上流側に配置された光学部品であるリレー光ファイバに非等方的なストレス

を加えて偏光特性を制御して偏光調整を行うので、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> のドープ・ファイバがストレスの印加等による偏光調整になじまない場合であっても、光源装置 16 としての性能や機能に悪影響を与えることなく、1/4 波長板 162 に入射する複数の光束の偏光状態を円偏光に揃えることができる。

【0187】

また、本実施形態に係る光源装置 16 によれば、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> のドープ・ファイバが、ほぼ並行して束ねられているので、占有する空間を小さくするとともに、1/4 波長板の受光面積を小さくできるので、光源装置 16 の小型化を図ることができる。

【0188】

また、本実施形態に係る光源装置 16 によれば、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> の射出光を赤外域の光（波長 = 1547 nm 付近）とし、波長変換部 163 から射出される光を紫外域の光（波長 = 193.4 nm 付近）に変換しているので、微細パターンの転写に適した紫外光を効率的に発生することができる。

【0189】

本実施形態に係る露光装置 10 は、微細パターンの転写に適した紫外光を効率的に発生する上記の光源装置 16 を使用しているので、効率的にパターンをウエハ W に転写することができる。

【0190】

なお、上記実施形態では、偏光調整装置 16D が光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> の射出光を円偏光に調整しているが、偏光調整が互いに同様な楕円偏光化にとどまる場合には、1/4 波長板 162 に替えて、偏波面を回転する 1/2 波長板と、該 1/2 波長板と光学的に直列接続された 1/4 波長板との組合わせを使用することにより、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> から射出された複数の光束を同一の偏光方向の直線偏光に変換することができる。ここで、1/2 波長板と 1/4 波長板との直列接続において、どちらを上流側に配置してもよい。

【0191】

また、上記実施形態では、1/4 波長板 162 に入射する光は、光ファイバ増幅器 171<sub>n</sub> の射出光としたが、複数の光導波用の光ファイバから射出された複

数の光束を1/4波長板162に入射させることにしてもよい。

【0192】

また、上記実施形態では、光増幅部161が128チャンネルの光経路を有する場合について説明したが、光経路の本数は任意でよく、本発明に係る光源装置が適用される製品、例えば露光装置で要求される仕様（ウエハ上での照度）、及び光学性能、すなわち照明光学系や投影光学系の透過率、波長変換部の変換効率、及び各光経路の出力などに応じてその本数を決定すればよい。かかる場合であっても、前述した光変調装置から出力されるパルス光の周波数制御、ピークパワー制御による光量、露光量の制御は好適に適用できる。

【0193】

さらに上記実施形態では、紫外光の波長を、ArFエキシマレーザとほぼ同一に設定するものとしたが、その設定波長は任意でよく、この設定すべき波長に応じて、レーザ光源160Aの発振波長や波長変換部163の構成及び高調波の倍率などを決定すればよい。なお、設定波長は、一例として、ウエハ上に転写すべきパターンのデザインルール（線幅、ピッチなど）に応じて決定するようにしてもよく、さらにはその決定に際して前述の露光条件やレチクルの種類（位相シフト型か否か）などを考慮してもよい。

【0194】

なお、上記実施形態では、レーザ光源160Aの発振波長の制御のため、レーザ光源160Aの直後でそのレーザ光をビームモニタ機構164によりモニタするものとしたが、これに限らず、例えば図5中に点線で示されるように、波長変換部163内（あるいは波長変換部163の後方）で光束を分岐して、これをビームモニタ機構164と同様のビームモニタ機構183でモニタするようにしても良い。そして、このビームモニタ機構183によるモニタ結果に基づいて、波長変換が正確に行われているか否かを検出し、この検出結果に基づいて主制御装置50がレーザ制御装置16Bをフィードバック制御するようにしても良い。勿論、両方のビームモニタ機構のモニタ結果を用いてレーザ光源160Aの発振波長制御を行っても良い。

【0195】

また、上記実施形態では、オプティカルインテグレータ（ホモジナイザ）としてフライアイレンズ系 22 を用いるものとしたが、その代わりにロッド・インテグレータを用いるようにしてもよい。ロッド・インテグレータを用いる照明光学系では、ロッド・インテグレータはその射出面がレチクル R のパターン面とほぼ共役になるように配置されるので、例えばロッド・インテグレータの射出面に近接して前述の固定レチクルブラインド 30 A や可動レチクルブラインド 30 B を配置してもよい。

#### 【0196】

また、上記実施形態中では特に説明をしなかったが、本実施形態のように、193 nm 以下の露光波長により露光を行う装置の場合には、光束通過部分にはケミカルフィルタを通過したクリーンエアーや、ドライエアー、N<sub>2</sub> ガス、若しくはヘリウム、アルゴン、クリプトン等の不活性ガスを充填させあるいはフローさせたり、該光束通過部分を真空にする等の処置が必要となる。

#### 【0197】

上記実施形態の露光装置は、本願の特許請求の範囲に挙げられた各構成要素を含む各種サブシステムを、所定の機械的精度、電気的精度、光学的精度を保つように、組み立てることで製造される。これら各種精度を確保するために、この組み立ての前後には、各種光学系については光学的精度を達成するための調整、各種機械系については機械的精度を達成するための調整、各種電気系については電気的精度を達成するための調整が行われる。各種サブシステムから露光装置への組み立て工程は、各種サブシステム相互の、機械的接続、電気回路の配線接続、気圧回路の配管接続等が含まれる。この各種サブシステムから露光装置への組み立て工程の前に、各サブシステム個々の組み立て工程があることは言うまでもない。各種サブシステムの露光装置への組み立て工程が終了したら、総合調整が行われ、露光装置全体としての各種精度が確保される。なお、露光装置の製造は温度およびクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

#### 【0198】

また、上記実施形態では、本発明に係る光源装置がステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に適用された場合について説明したが、露光装置以外の

装置、例えば、ウエハ上に形成された回路パターンの一部（ヒューズなど）を切断するために用いられるレーザーリペア装置などにも本発明に係る光源装置を適用することができる。また、本発明による光源装置は可視光または赤外光を用いる検査装置などにも適用することができる。そしてこの場合には前述の波長変換部を光源装置に組み込む必要がない。すなわち、本発明は紫外レーザー装置だけでなく、可視域または赤外域の基本波を発生する、波長変換部がないレーザー装置に対しても有効なものである。また、本発明は、ステップ・アンド・スキャン方式の走査型露光装置に限らず、静止露光型、例えばステップ・アンド・リピート方式の露光装置（ステッパなど）にも好適に適用できるものである。更にはステップ・アンド・スティッチ方式の露光装置、ミラープロジェクション・アライナーなどにも適用できる。

## 【0199】

なお、上記実施形態で示した投影光学系や、照明光学系はほんの一例であって、本発明がこれに限定されないことは勿論である。例えば、投影光学系として屈折光学系に限らず、反射光学素子のみからなる反射系、又は反射光学素子と屈折光学素子とを有する反射屈折系（カタディオプトリック系）を採用しても良い。波長200nm程度以下の真空紫外光（VUV光）を用いる露光装置では、投影光学系として反射屈折系を用いることも考えられる。この反射屈折型の投影光学系としては、例えば特開平8-171054号公報及び特開平10-20195号公報などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタと凹面鏡とを有する反射屈折系、又は特開平8-334695号公報及び特開平10-3039号公報などに開示される、反射光学素子としてビームスプリッタを用いずに凹面鏡などを有する反射屈折系を用いることができる。

## 【0200】

この他、米国特許第5,488,229号、及び特開平10-104513号公報に開示される、複数の屈折光学素子と2枚のミラー（凹面鏡である主鏡と、屈折素子又は平行平板の入射面と反対側に反射面が形成される裏面鏡である副鏡）とを同一軸上に配置し、その複数の屈折光学素子によって形成されるレチクルパターンの中間像を、主鏡と副鏡とによってウエハ上に再結像させる反射屈折

系を用いても良い。この反射屈折系では、複数の屈折光学素子に続けて主鏡と副鏡とが配置され、照明光が主鏡の一部を通して副鏡、主鏡の順に反射され、さらに副鏡の一部を通してウエハ上に達することになる。

#### 【0201】

勿論、半導体素子の製造に用いられる露光装置だけでなく、液晶表示素子などを含むディスプレイの製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、及び撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置などにも本発明を適用することができる。

#### 【0202】

##### 【発明の効果】

以上詳細に説明したように、本発明の光源装置によれば、偏光調整装置が複数の光ファイバから射出される複数の光束の偏光状態を揃えた後、偏光方向変換装置が、複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換するので、簡易な構成で、同一の偏光方向を有する複数の光束を得ることができる。

#### 【0203】

また、本発明の露光装置によれば、露光用ビームの発生装置として、微細パターンの転写に適した紫外光を効率的に発生する本発明の光源装置を使用するので、効率的に所定のパターンを基板に転写することができる。

##### 【図面の簡単な説明】

#### 【図1】

本発明の一実施形態に係る露光装置の構成を概略的に示す図である。

#### 【図2】

図1の光源装置の内部構成を主制御装置とともに示すブロック図である。

#### 【図3】

図2の光増幅部の構成を概略的に示す図である。

#### 【図4】

光増幅部を構成する最終段のファイバ増幅器の出力端部が束ねられて形成され

たバンドルファイバの断面を示す図である。

【図 5】

図 2 の光増幅部を構成するファイバ増幅器及びその周辺部を、波長変換部の一部とともに概略的に示す図である。

【図 6】

図 2 の波長変換部の構成を示す図である。

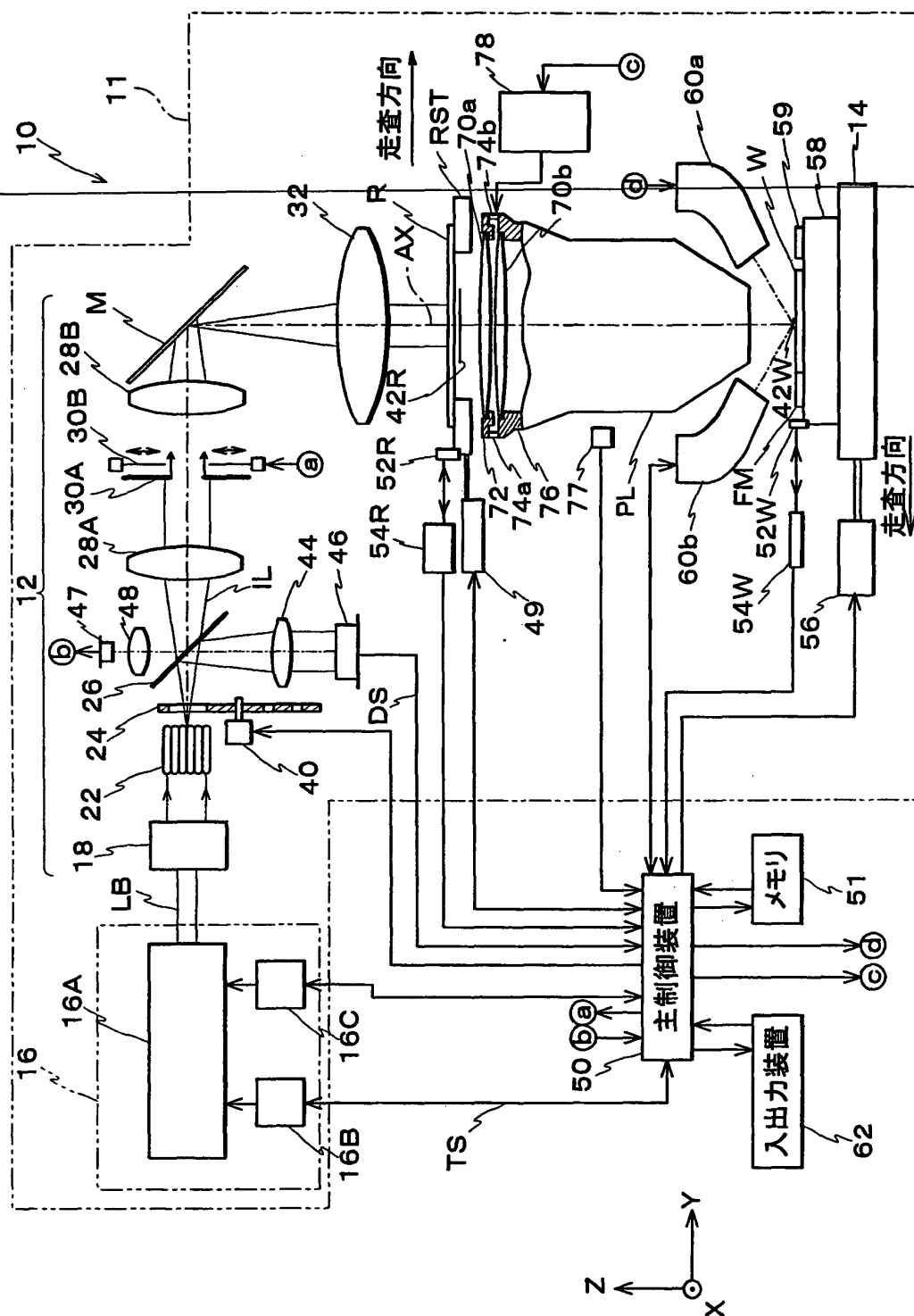
---

【符号の説明】

1 0 …露光装置、1 6 …光源装置、1 6 D …偏光調整装置、1 6 2 …1 / 4 波長板（偏光方向変換装置）、1 6 3 …波長変換部（波長変換装置）、W …ウエハ（基板）。

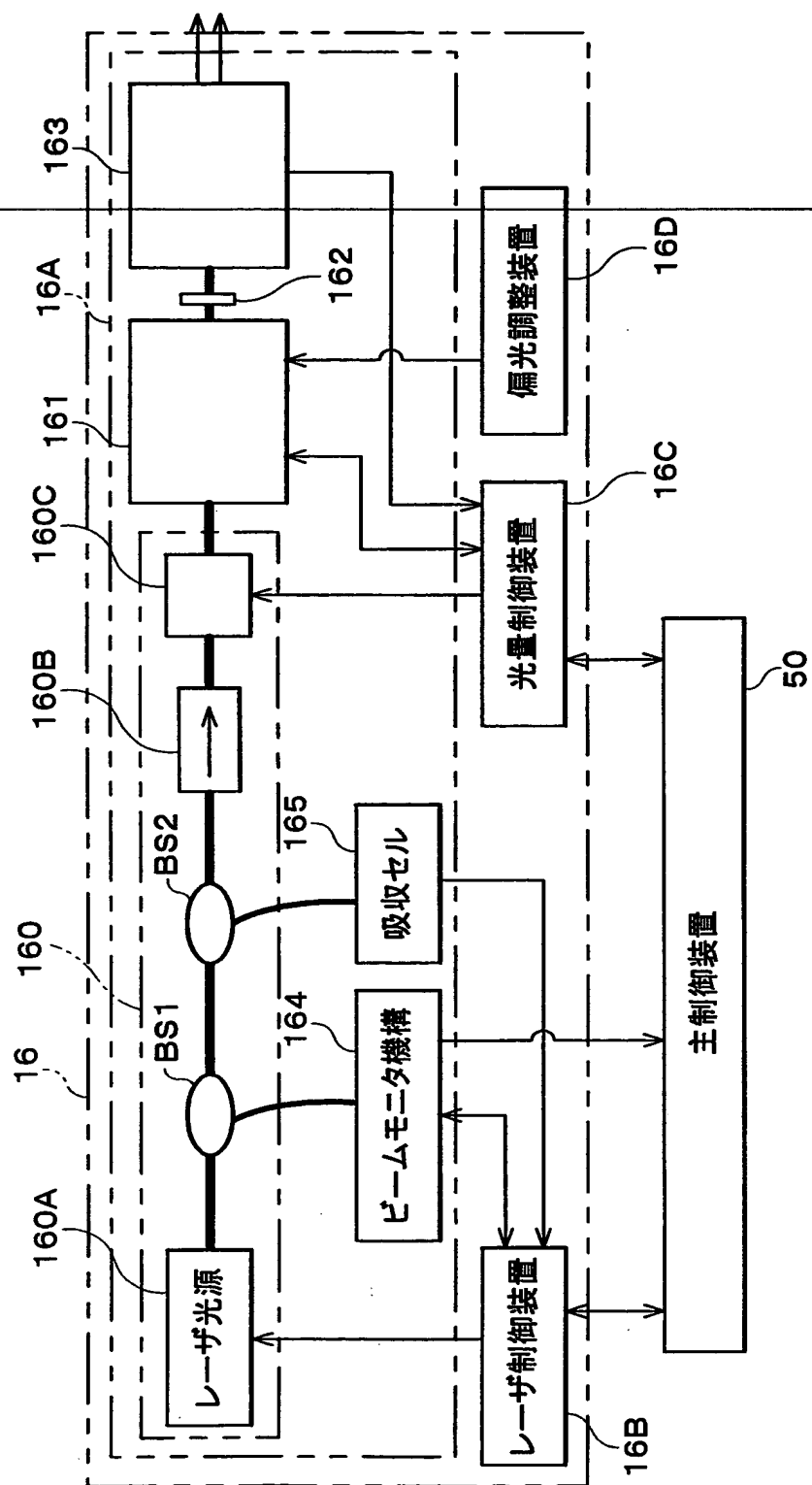
【書類名】 図面

【図 1】

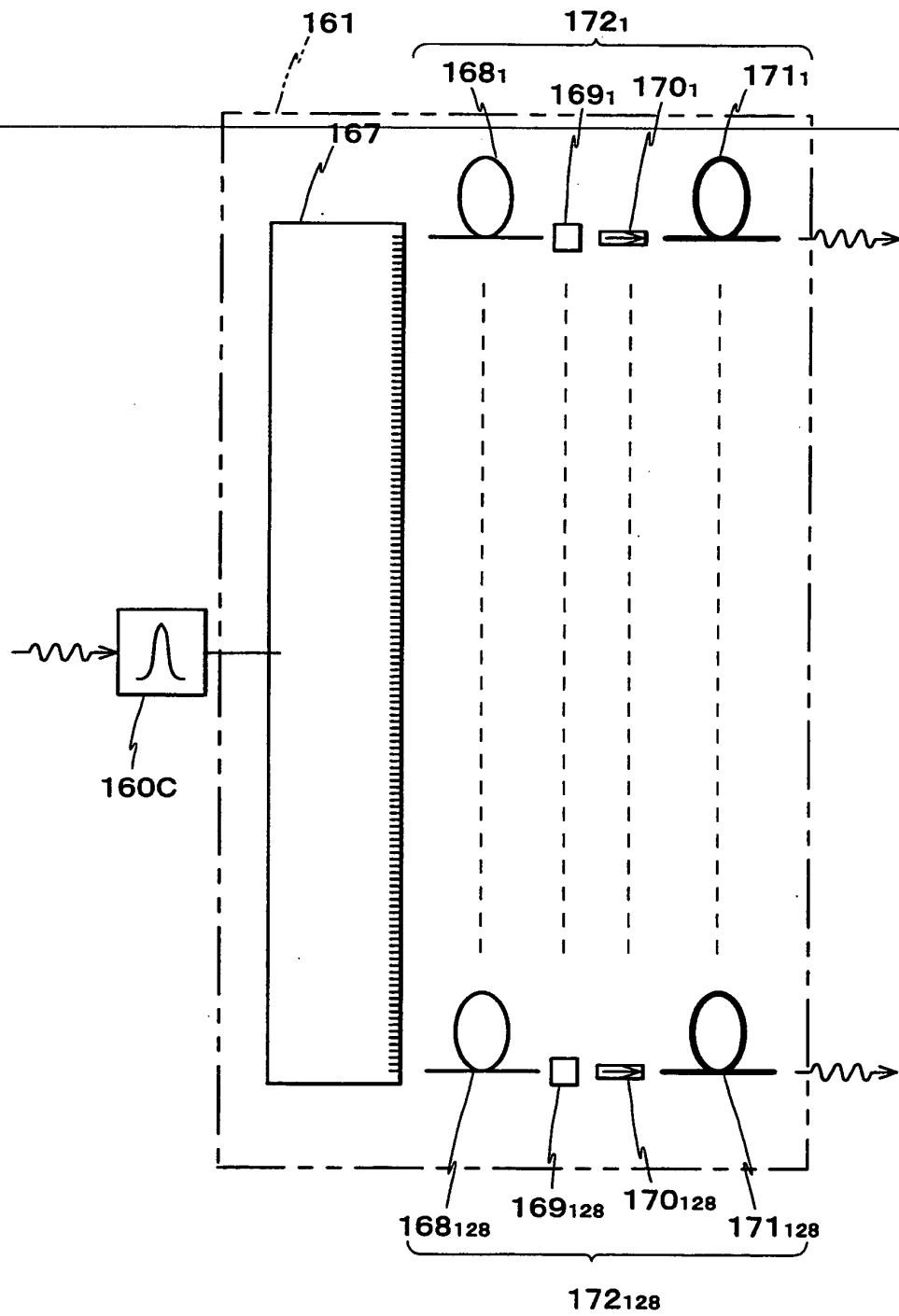




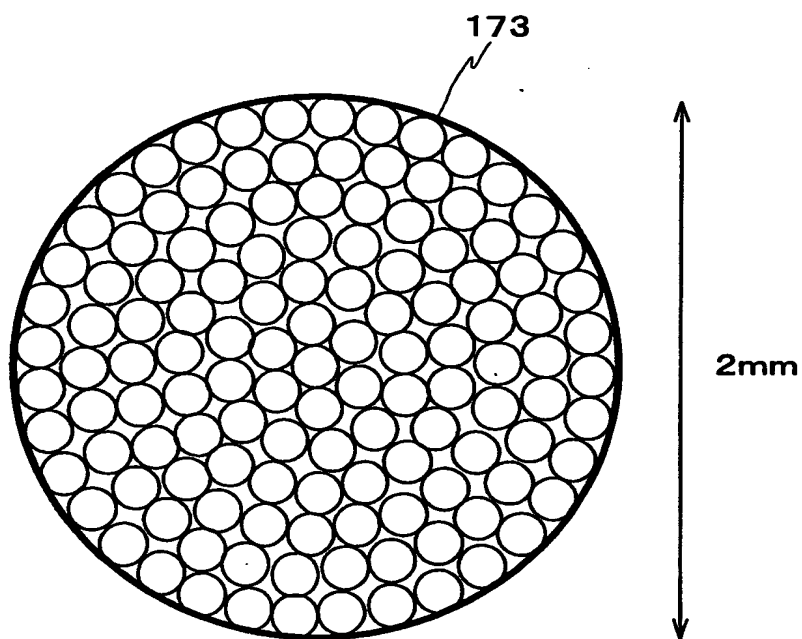
【図 2】



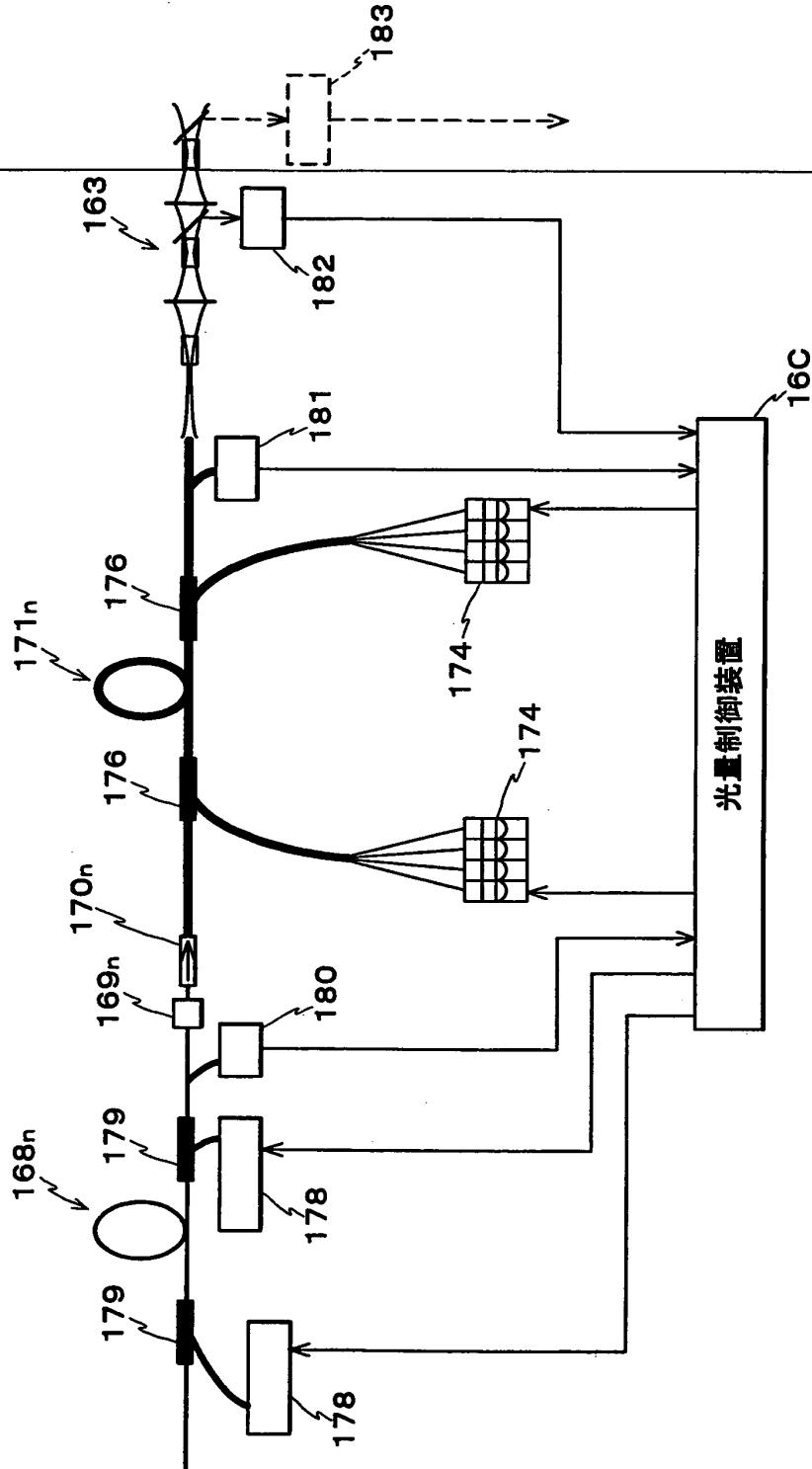
【図 3】



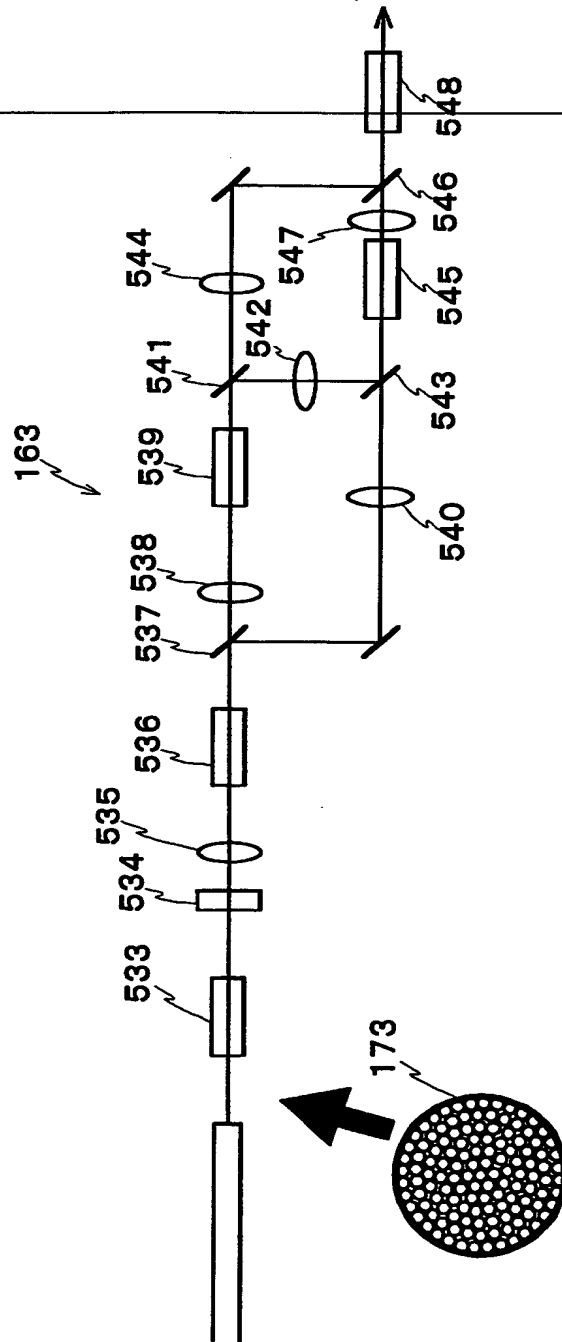
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 簡単な構成で偏光状態を制御しつつ所定の光を発生する。

【解決手段】 偏光調整装置 16D が複数の光ファイバから射出される複数の光束の偏光状態を揃えた後、偏光方向変換装置 162 が、複数の光ファイバを介した全ての光束を同一の偏光方向を有する複数の直線偏光光束に変換する。このと

---

き、直線偏光の偏光方向は、後段の波長変換装置 163 における初段の非線形光学結晶について波長変換が効率良く行われる偏光方向に設定される。こうして得られた同一偏光方向の複数の直線偏光光束を、波長変換装置 163 に入射させて波長変換を行うことにより、効率良く所定の波長の光を得る。

【選択図】 図 2

認定・付加情報

特許出願の番号	平成 1 1 年 特許願 第 2 5 8 0 8 9 号
受付番号	5 9 9 0 0 8 8 6 7 1 8
書類名	特許願
担当官	第五担当上席 0 0 9 4
作成日	平成 1 1 年 9 月 1 6 日

---

<認定情報・付加情報>

【提出日】 平成11年 9月10日

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[000004112]

---

1. 変更年月日	1990年 8月29日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
氏 名	株式会社ニコン